

## 증기발생기 전열관 슬리브 레이저 보수용접을 위한 레이저 전송 광섬유 감시장치

백성훈, 정진만, 김민석, 박승규, 김철중

한국원자력연구소

### 요 약

원자력발전소 증기발생기 전열관 sleeve의 레이저 보수용접은 원자로 외부의 레이저 광원을 sleeve 내부의 용접 head 까지 광섬유로 수백 미터를 전송하여 수행된다. 전열관 레이저용접은 용접 중의 레이저출력, 레이저 전송 광학계의 파손여부, 광학계의 정렬상태등을 정확히 감시하며 수행하여야 하지만, 작업공간의 협소함과 방사능 구역이라는 어려움 때문에 실시간 감시가 쉽지 않다. 본 연구에서는 광섬유 전송 광학계와 지시용 레이저를 이용하여, 광섬유의 끝단에서 반사된 레이저 빔을 이용하여 광섬유 상태를 실시간 감시할 수 있음을 실험적으로 확인하였다. 실험은 core 직경 800um 의 step index 레이저 전송용 광섬유를 사용하였으며, 광섬유 끝단에 물등의 불순물이 있을 경우와 광섬유가 파손되었을 경우의 감시결과를 얻어, 광섬유 광학계의 실시간 감시가 가능함을 보였다.

### 1. 서 론

원자력 발전소 증기발생기 전열관의 레이저 슬리브 보수용접기술<sup>[1]</sup>은 미국, 일본, 프랑스, 독일등에서 개발하여 실용화되고 있으며, 현재 한국 원자력 연구소에서도 개발이 거의 완료되고 있다. 레이저를 이용한 슬리브 용접기술은 광섬유 장거리 전송에 의한 원격가공과 정밀용접이 가능하다는 장점으로 현재 주로 사용하

는 TIG 용접을 대체하는 기술로 개발/사용되고 있다. 슬리브 레이저 보수용접은 지름이 1" 이하인 튜브 안에 레이저 집속광학계와 가스노즐 등으로 이루어진 용접 head를 삽입시켜 수행하는데, 여유공간이 없고 원자로내에서 이루지는 작업이라 감시에 많은 어려움이 있다. 미쓰비시사에서는 광섬유 광학계에 모니터링을 위한 별도의 광섬유를 같이 설치하여 광학적 감시를 시도하였다.<sup>[2]</sup>

레이저 전송 광섬유를 감시하는 기존의 광학적 방법으로는 coupling 장치 옆에 별도의 detector를 장치하여 광신호를 비교하는 방법<sup>[3]</sup>, 주 광섬유에 별도의 광섬유를 붙여 cladding 으로 나오는 레이저를 잡아 정렬상태 및 파손여부를 감시하는 방법<sup>[4]</sup> 등이 있다. 하지만 이런 방법들은 감시를 위한 별도의 광섬유 광학계를 설치해야 한다는 번거로움과 광섬유 면상태 감시는 어려운 단점이 있다.

본 연구에서는 지시용 레이저의 편광(polarization)을 이용하여 광섬유 끝단의 양면(입사부와 출력부)에서 반사되는 레이저 신호를 분리/측정하여 광섬유 파손 및 광섬유 면오염정도를 실시간 감시할 수 있는 방법을 고안하여, 응용 가능성을 실험적으로 입증하였다. 실험에 사용한 광섬유는 core 직경 800um 의 step index Nd:YAG 레이저 전송용 광섬유이며, 광섬유 끝단에 불순물이 있을 경우와 광섬유가 파손되었을 경우의 감시성능을 실험하여 적용이 가능함을 입증하였다.

## 2. 실험

그림 1은 광섬유 파손 및 면상태 감시를 위하여 구성한 광섬유 coupler와 신호 측정 장치도이다. 광섬유 광학계는 원자력발전소 증기발생기 전열관 용접에 사용되는 Nd:YAG 레이저 보수장치 광섬유 coupler 와 지시용 가시광 레이저로 구성된다. 발전기에서 나온 레이저는 광섬유로 전송되어 광섬유 coupler 에서 증기 발생기 안으로 삽입되는 다른 광섬유로 전송된다. 이 단계에서 광섬유에 입사되는 지시용 레이저(보통 가시광 다이오드레이저)와 광섬유 면에서 반사되는 지시용 레이저의 출력을 측정한다. 출력단의 광섬유 면에서 반사되는 레이저의 세기는 전송 광섬유의 손상 및 광학정렬 상태에 관계되므로 이 두신호의 비를 이용하면 지시용 레이저의 세기와 무관하게 광섬유 광학계의 감시가 가능하다.

광섬유는 미쓰비시 Diaguide ST series step index MRT # ST800G-SY를

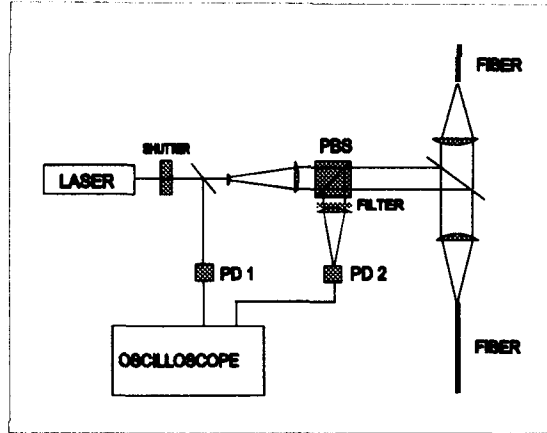


그림 1. 광섬유 감시신호 측정을 위한 광섬유 coupler 구성도

사용하였다. 사용한 광섬유는 4개의 층으로 되어 있는데, 가장 안 층은 광섬유 core부, 가운데 층은 cladding(primary coating)이고, 바깥부분은 buffer layer 이다. 또 buffer layer 바깥 부분에는 보호 튜브가 입혀져 있다. 광섬유의 core 부분은 고순도 silica glass 재질로 만들어져 있는데, 굴절율이 cladding부 보다 커서 레이저 빛이 내부 전반사에 의해 cladding 부로 나가지 않고 core를 따라 전송하게 된다. Buffer layer 부분의 굴절율은 cladding 부보다 크므로, 빛이 cladding 부를 통해 core 를 빠져나가게 되면 buffer layer를 통해 전송되며, 이러한 비정상적인 전송은 많은 문제를 야기시킨다. 광섬유가 파손되거나 면에 불순물이 있는 경우나 정렬이 안된 경우 빔이 core를 빠져나가 buffer layer를 타고 가게 되며, 따라서 core 부의 레이저 신호가 감쇄된다. 본 장치에서는 이 core 부의 레이저 신호를 입력 신호와 비교 함으로써 전송상태를 감시한다.

본 실험에서는 지시용 레이저로 파장이 633nm 인 편광 He-Ne 레이저를 사용하였다. 또 지시용 레이저의 출력에 무관하게 상태감시가 가능함을 확인하기 위해 레이저 앞에 액정 shutter를 장치하여 레이저 출력을 변조하는데 사용하였다.

레이저 앞의 빔분할 선형편광자를 설치하여 광섬유 출력단면에서 반사되는 빔의 세기를 측정하였다. 광섬유 단면에서 반사되는 빔은 광섬유 입사면 반사빔과 출사면 반사된 빔이 합쳐져 있는데, 레이저가 편광되어 있을 경우 광섬유 입사면

에서 반사된 빛은 편광자에서 반사되지 않고 전부 투과되므로 반사신호 검출 detector로 오지 않는다. 광섬유 감지에 필요한 신호는 광섬유로 전송되어 광섬유 출구면에서 반사된 신호이므로 본 구성과 같이 편광자를 도입할 경우 입사면의 반사신호를 제거함으로써 신호의 S/N 비를 2배 이상 높일 수 있다.

Detector 로는 P-I-N photodiode (Thorlab DET100)를 사용하였고, 지시용 레이저를 선택적으로 추출하기 위해 FWHM 10 nm 인 간섭필터를 사용하였다. 신호는 4-channel digital oscilloscope (Lecroy 9304A)로 처리하였는데, 실제 적용시에 사용할 전용의 신호처리 장치와 신호처리 프로그램은 현재 개발중이다.

### 3. 결과 및 논의

그림 2는 광섬유 끝단에 물이 묻었을 때의 감시신호 측정경과이다. 그림에서 ch.1은 레이저 입력신호이고, ch. 2는 광섬유를 투과하여 반사되어 돌아오는 신호, ch.3(ch.D) 는 두 신호의 비로 실제 감시 신호이다. 신호 중간에 fluctuation 을 보인 것은 광섬유 끝단의 물을 압축공기로 불어내는 과정에서 레이저 반사율의 심한 변화를 보여 준다. 그림 3은 입력 레이저 신호를 액정 shutter를 사용하여 변조시켰을 경우의 신호로, 입력신호와 출력신호가 일정치 않더라도 실제 감시신호인 ch.D 에는 영향을 미치지 않음을 보여준다.

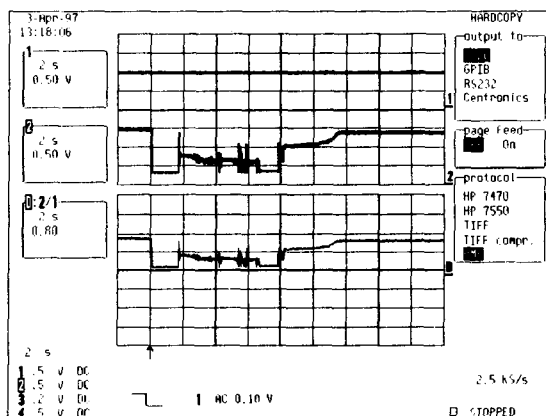


그림 2. 광섬유 면에 불순물이 묻었을 때의 감시신호 모습

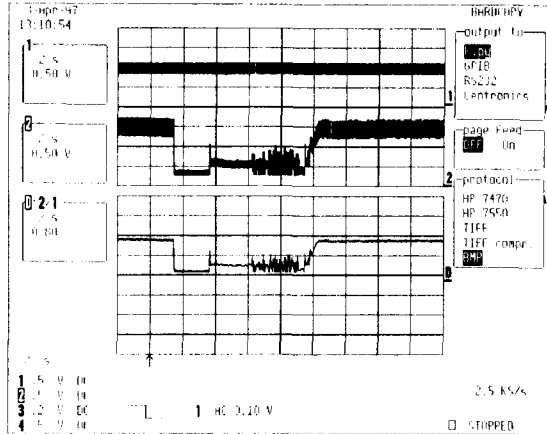


그림 3. 광섬유 면에 불순물이 묻었을 때의 감시신호 모습  
(레이저의 출력이 변할 때의 실험결과)

그림4는 광섬유가 구부러지다 부러질 때의 감시신호 측정결과이다. 광섬유가 구부러지는 과정에서 신호의 감쇄가 나타남을 볼 수 있으며, 부러진 후의 신호감쇄도 명확히 나타난다.

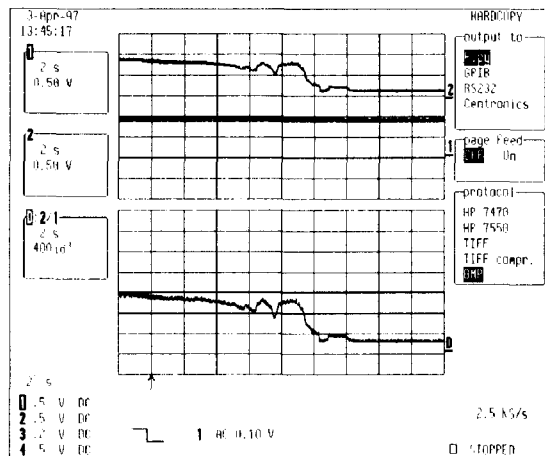


그림 4. 광섬유가 휘어져 절단될 때의 감시신호 측정결과

#### 4. 결 론

원자력 발전소 증기발생기 전열관의 레이저 보수용접시 광섬유 단면에서 반사되는 지시용 레이저의 신호를 측정함으로써 용접중에 광섬유 용접광학계의 상태를 실시간 감시할 수 있음을 실험을 통하여 확인하였다. 본 방법은 레이저 용접시 사용하는 광섬유 전송 광학계와 지시용 레이저를 이용하는 방법으로, 장치 구성이 간단하다는 장점이 있어, 현재 적절한 실시간 감시방법이 없는 증기발생기 레이저 보수용접장치의 광섬유 상태감시에 활용도가 높을 것으로 기대된다.

#### 5. 참고문헌

- [1]. Takashi Ishide, etc., "High power YAG laser welded sleeving technology for steam generator tubes in nuclear power plants", Proceedings of LAMP '92, p.957(1992)
- [2]. 穗坂重孝외, "蒸氣發生器 電熱管 의 YAG 레이저 鎔接 知的監視", 三菱重工 技報, Vol.29, No.2, 110(1992-3)
- [3] US Patent 4,812,641, "High power optical fiber failure detection system"
- [4] US Patent 5,319,195, "Laser system method and apparatus for performing a material processing operation and for indicating the state of the operation"