

증기발생기 전열관 sleeve 레이저 보수용접을 위한 자동 확관장치의 구성

김민석, 백성훈, 정진만, 박승규, 김철중
한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

증기발생기 전열관 보수를 위하여 sleeve pipe 를 삽입하여 레이저 용접을 하는 과정에서 전열관과 sleeve pipe 의 간격을 최소한으로 줄여 용접 품질을 높이고, 균등하게 하기위하여 sleeve pipe 에 대하여 확관이 수행된다. 확관은 sleeve pipe 의 상단부와 하단부에 각각 수행되는데 정확한 확관규격을 유지하기 위하여 컴퓨터로 확관압력의 미분치를 비교분석하여 압력펄프를 제어하였다. 압력신호의 변화가 크고 안정되지 못하여 전후신호와 비교분석하여 안정화 시킨 후 미분치를 추출하여 제어함으로써 전열관의 확관이 0.02 mm 이내가 되도록하여 전열관의 과도한 확관을 방지하였다.

1. 서 론

원자력발전소 열교환기의 수명연장을 위한 방법중 sleeve pipe 를 삽입하여 보수하는 방법이 있는데 지금까지는 sleeve pipe 를 삽입하여 확관후 용접을 하거나 확관만으로 보수하였다. 현재 국내에서 가동중인 고리 1 호기의 경우 전열관 보수는 sleeve pipe 확관 또는 확관후 TIG 보수용접 방식으로 수행되었다^[1].

현재 미국 일본등에서는 Nd:YAG 를 이용한 레이저 용접방식을 개발하여 일부 적용중이다. 증기발생기 전열관의 보수용접에 레이저 용접을 사용하면 용접부위의 열변형이 적으며 내부식성 특성이 우수하기 때문에 선진국에서는 80 년대중반이후 집중적으로 증기발생기 전열관의 레이저 보수용접기술개발에 대한 연구가 진행되어 90 년대에는 일부 개발완료되어 원자력발전소에 적용되고 있다^[2].

이러한 증기발생기 전열관의 레이저 보수용접부분은 tube sheet 부분과 tube support 부분으로

나누어 지는데 약 80 % 이상의 보수용접은 tube sheet 부분에서 일어나며, 이는 전열관 끝부분에서 약 1 m 안에서 대부분이 이루어진다. 전열관의 보수유지절차는 세관, 확관, 용접 및 검사로 이루어진다^[2]. 이중 확관은 결함이 있는 부위에 sleeve pipe 를 삽입하고 전열관과 sleeve pipe 의 간격을 최소한으로 줄여 용접시 용접품질을 높이고, 결함이 있는 기존 전열관 부위의 최소한의 변형을 목적으로 수행되는데 sleeve 확관시 정확한 확관규격을 제어하는데 어려움이 있다.

본 논문은 이러한 확관장치의 확관규격을 원격으로 자동제어하여 일정한 확관규격을 유지하는 장치에 대한 내용이다.

확관장치와 컴퓨터와의 접속을 위하여 압력센서의 신호를 증폭하여 12 비트 A/D converter 로 디지털변환후 printer port 인터페이스로 notebook 컴퓨터와 접속하였으며 압력센서가 외부 noise 에 민감하여 notebook 컴퓨터의 전원부를 AC 라인과 분리하여 접속하였다.

압력센서 내부 noise 와 pump 작동에 의해 신호의 변동이 심하여 전후 10 개의 신호를 비교 분석하여 초당 10 개의 미분치를 만들어 각각을 비교분석함으로써 현재의 동작상태를 인식하였다. 전열관의 확관규격을 제어하기 위하여 미분치의 변화범위를 지정하여 제어하였으며 이상 상태에 대한 자동차단기능을 내장하여 전열관의 결함에 대비하였다.

2. 자동 확관장치의 구성

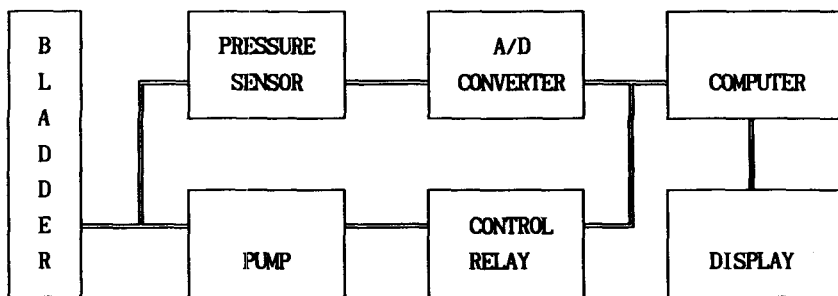


그림 1 자동 확관장치 구성도

자동 확관장치는 그림 1 과 같이 bladder, pressure sensor, pump, A/D converter, control relay 및 제어컴퓨터로 구성된다. 전체 장치제어는 컴퓨터에 내장된 프로그램에 의해 제어되며 프린터포트로 제어신호가 전송된다. 동작을 보면 컴퓨터가 control relay 로 pump 를 동작시키면 pump 에 의해 bladder 의 압력이 증가된다. 이러한 압력변화는 압력센서와 A/D converter 에 의

해 디지털신호로 변환되어 컴퓨터로 입력된다. 컴퓨터의 확관계어 프로그램에서 압력상태를 감시하여 확관이 완료된 시점을 자동인식후 pump 를 off 시킨다.

3. 자동 확관계어 프로그램

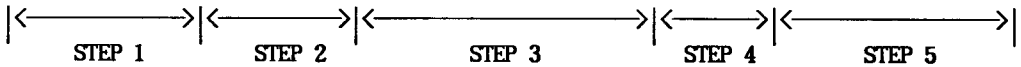
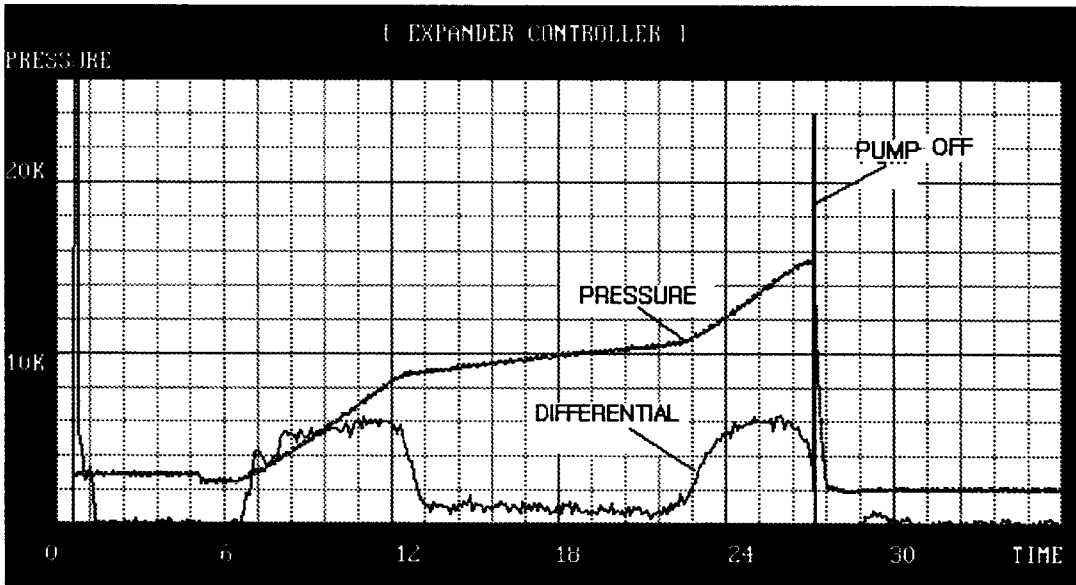


그림 2 Expander control system display

그림 2 와 같이 display 에는 압력데이터와 함께 미분치도 같이 표시된다. 확관은 압력변화에 따라 5 개의 단계로 진행된다^[3]. 첫 번째 단계는 펌프의 초기 가압단계이며 가압상태가 되면 두 번째 단계로 sleeve pipe 에 대한 가압이 시작되어 sleeve pipe 의 탄성범위에 있게된다. 압력이 점차 증가하여 sleeve pipe 의 항복점이 탄성한계를 지나면 3 번째 단계가 되어 sleeve pipe 는 영구변형이 되고 압력증가 속도는 감소된다. Sleeve pipe 가 증기발생기 전열관 tube 와 밀착되면 팽창이 정지되어 다시 확관기 내부 압력증가가 빨라지는 4 번째 단계가 된다. 압력이 계속 증가하여 증기발생기 전열관 tube 가 팽창되기 시작하면 pump 를 off 시키고 감압하는 5 번째 단계에서 확관이 완료된다.

이와같은 과정은 그림 3 의 control flow chart 와 같이 pressure 데이터에서 일정구간 간격으로 추출된 미분 데이터를 비교하여 제어하며, 확관완료 위치는 미분치의 감소율을 비교하여 제어한다.

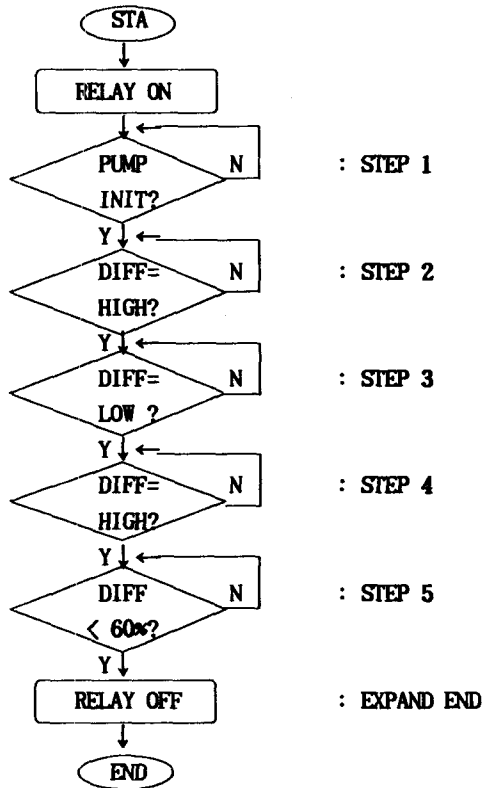


그림 3 Control Flow Chart

4. 결 론

두께가 1.08 mm sleeve pipe 에 대한 확관 실험결과는 표 1 과 같이 확관 압력범위가 15,500 - 16,100 psi 범위에서 이루어 졌으며 전열관의 확관은 0.02 mm 이내가 되었다. 압력센서의 신호를 비교분석하지 않을 경우 미분치의 변화가 심하여 정확한 제어가 이루어지지 않았으나 전후 데이터를 비교분석하여 안정된 신호를 추출하였다. 그리고 실제 원자력발전소 전열관보수에 적용하기 위하여 결합있는 pipe 등에 대한 다양한 실험 및 분석이 보강되어야 한다.

표 1 확관 실험 결과

번호	확관전 직경(mm)	확관후 직경(mm)	확관압력(psi)
1	22.20	22.21	16,100
2	22.20	22.21	16,080
3	22.18	22.19	16,090
4	22.18	22.18	16,050
5	22.20	22.21	15,850
6	22.20	22.21	15,650
7	22.18	22.18	15,900
8	22.18	22.19	15,850
9	22.19	22.20	15,900
10	22.19	22.20	15,900

참 고 문 헌

- [1] 한국원자력연구소, 레이저가공 및 광계측 기술개발,
KAERI/RR-1492/94
- [2] Bala R. Nair, "Application of laser welding technology to the repair of nuclear power
plant steam generators", Westinghouse Electric Corporation, 1993
- [3] The Babcock & Wilcox Company, "TUBE EXPANDING METHOD",
US Patent No. 4635333, Jan.13, 1987