

'98 추계 학술발표회 논문집

한국원자력학회

차동 환상형 탐촉자에 의한 원자로 제어봉의 결함검사

Detection of Defects in Control Rods of Reactor
by Differential Encircling Probe

구대서, 박광준, 민덕기, 노성기, 신희성

한국원자력연구소

대전광역시 유성구 덕진동 150

요약

와전류 시험에 의한 원자로 손상 제어봉의 결함판별을 위하여 외부결함, 내부결함 및 관통결함을 갖는 표준 제어봉을 제작하였다. 이 표준결함에 대한 와전류 신호를 저장하고 분석할 수 있는 프로그램을 개발하여 와전류 신호특성을 조사하고 분석하였으며, 제어봉 결함판별의 최적 주파수는 200kHz였다. 와전류의 신호특성을 분석함으로써 원자로 손상 제어봉 피복관의 결함위치 및 결함유형을 판별하였으며 제어봉 피복관 내의 하프늄에 대한 결함판별도 가능함을 확인하였다.

Abstract

To detect the defects of defective control rods in reactor, the standard specimen including external defect, internal defect, and through-hole defect is fabricated. The eddy current signals of these defects are stored, analyzed by developing the program for data acquisition of eddy current examination and the optimum frequency for detecting defects of control rods is 200kHz. The defect location, defect shape of cladding in defective control rods are detected by analyzing impedance phase of eddy current and it is confirmed that the defects of hafnium in control rods can be detected.

1. 서론

원자로가 안전하게 가동되기 위하여 핵연료가 건전하게 연소하고 원자로의 운전정지 혹은 출력을 제어하는 제어봉의 결함이 없어야 한다. 원자로 운전중에 제어봉에 결함이 발생한 경우에는 신속하게 검사하여 결함을 판별하고 그 원인을 규명하는 시험기술이 필요하다[1~2].

본 실험은 제어봉의 결함판별을 위한 외부결함, 내부결함 및 관통결함을 갖는 표준 제어봉을 제작하고 이 표준결함에 대한 와전류 신호를 저장하고 분석할 수 있는 프로그램을 개발하여 와전류

신호특성을 분석하였다. 와전류시험에 의하여 와전류 임피던스 위상과 진폭을 분석하여 원자로의 손상 제어봉 피복관의 결함위치, 결함유형을 판별하고 제어봉 피복관 내의 하프늄에 대한 결함판별도 가능함을 확인하였다[3~4].

2. 실험장치 및 측정방법

본 와전류시험장치는 프랑스의 Intercontrole 사의 Defoscope 이며 주파수 범위는 1kHz ~ 1MHz 로써 연속적으로 가변할 수 있다. 그림 1에서 차동 환상형 코일에 최적 주파수를 여기·인가함으로써 와전류 신호를 발생시키고 이 미세신호를 증폭하고 임피던스 위상 및 진폭을 조정하여 CRT에 나타나도록 하였다. 이 와전류 신호를 저항성분과 리액턴스 성분으로 분리하여 A/D(analog to digital) 컨버터로 접속하여 개인용 컴퓨터에 연결하고 와전류 신호를 저장하고 분석하였다. A/D 컨버터는 12 비트의 해상도를 가지고 있으며 분석용 프로그램은 C 언어로 작성하였다. 핵연료봉의 구동은 핫셀 스텝모터에 의해 상하 및 회전이동이 가능하도록 스텝모터 제어장치를 제작하였고 핵연료봉의 시험위치가 실시간으로 나타나게 하였다.

와전류 시험탐촉자는 그림 2와 같은 차동 환상형을 사용하였다. 제어봉에 대한 와전류시험의 최적시험조건을 설정하기 위하여 제어봉 피복관에 외부결함(0.2(D)×0.2(W)×3.0(L)mm), 내부결함(0.2(D)×0.2(W)×3.0(L)mm), 관통구멍의 직경 0.5mm 로 표준 제어봉을 제작하였고 여기서 D, W, L 은 각각 결함의 깊이, 결함의 폭 그리고 결함의 길이를 나타낸다.

그림 3은 최적 주파수 200kHz에서 표준 제어봉의 표준결함에 대한 와전류신호를 나타낸 것이며 결함형태 및 결함크기에 따라 와전류 임피던스 위상과 진폭이 각각 뚜렷이 구별되었다. 와전류 차동 환상형 탐촉자에 의하여 도체의 결함을 탐상하는 경우에 도체의 외부결함에 대한 와전류의 임피던스 위상은 10~35°정도이고, 도체의 관통결함에 대한 임피던스의 위상은 35~55°정도이며 도체의 내부결함에 대한 임피던스의 위상은 55~90°정도로 나타난다고 알려져 있다[5~7]. 따라서 와전류 탐촉자 코일에 대한 와전류의 임피던스 위상을 밝혀서 도체의 결함이 어떤 형태인가를 판별하게 된다.

3. 결과 분석 및 논의

제어봉의 결함판별을 위한 외부결함, 내부결함 및 관통결함으로 가공한 표준 제어봉에 대한 와전류 신호특성은 뚜렷이 구별되었고 최적 주파수는 200kHz였다. 이 주파수에서 와전류 임피던스 신호특성에 의하여 제어봉 A, 제어봉 B의 결함을 분석하였다.

그림 4~5의 와전류 시험결과에 따르면 제어봉 A 하단으로부터 789, 881mm 위치에서 local bulge 신호, 970mm 위치에서 하프늄-하프늄 경계면 신호, 1049mm의 하프늄-보론탄화물 경계면 신호, 1258mm 위치에서 피복관 마모신호 그리고 1493mm에서 기계적인 흠의 신호가 발견되었

다. 그림 6은 제어봉 B하단으로부터 390mm 위치에서 하프늄-하프늄 경계면신호가 검출되었다. 따라서 와전류 신호특성을 분석하여 제어봉 피복관의 결함위치, 결함유형을 판별하였으며 제어봉 피복관 내의 하프늄에 대한 결함판별도 가능함을 확인하였다.

4. 결론

1. 외부결함, 내부결함 및 관통결함으로 제작한 표준 제어봉에 대한 와전류의 신호특성은 결함형태 및 결함크기에 따라 뚜렷이 구별되었으며 최적 주파수는 200kHz 였다.
2. 와전류 신호특성을 분석하여 제어봉 피복관의 local bulge, scratch, wear, 제어봉 하프늄-하프늄 그리고 제어봉 하프늄-보론탄화물 경계면 신호를 검출하였다.
3. 와전류 시험에 의하여 원자로 제어봉의 피복관 및 피복관 내의 하프늄에 대한 결함위치, 결함유형의 판별이 가능함을 확인하였다.

감사의 글

본 연구가 과학기술부의 원자력사업의 일환으로 수행되었음

참고문헌

- [1] H. W. Keller, et al., "Development of Hafnium and Comparison with Other Pressurized Water Reactor Control Rod Material," Nucl. Tech., Vol. 59, 576(1982).
- [2] W. J. Johnson to C. E. Rossi Letter Number NS-NRC-88-3389 dated December 19, 1988 entitled, "Summary of Full Length Hafnium RCCA Anomaly Update," (1988).
- [3] R. D. Phipps, et al., "Eddy-Current Examination of Irradiated Fuel Elements at the Hot Fuel Examination Facility," Proc. 25th Conference on Remote Systems Technology(1977), pp. 245~250.
- [4] J. H. Flora, et al., "Nondestructive Examination of Irradiated Fuel Rods using Encircling and Probe Eddy-Current Systems," Proc. 25th Conference on Remote Systems Technology(1977), pp. 264~271.
- [5] T. R. Crowe, "Calibration of Eddy Current Systems with Simulated Signals," Mat. Eval. Vol. 35, 59(1977).
- [6] A. P. Steinberg et al., "Determining Crack Depth in a high-Strength Steel Cylinder using Magnetic Perturbation," Mat. Eval. Vol. 40, 288(1982).
- [7] J. B. Hallett, G. V. Drunen and V. S. Cecco, "An Eddy Current Probe for Separating Defects from Resistivity Variations in Zirconium Alloy Tubes," Mat. Eval. Vol. 42, 1276(1984).

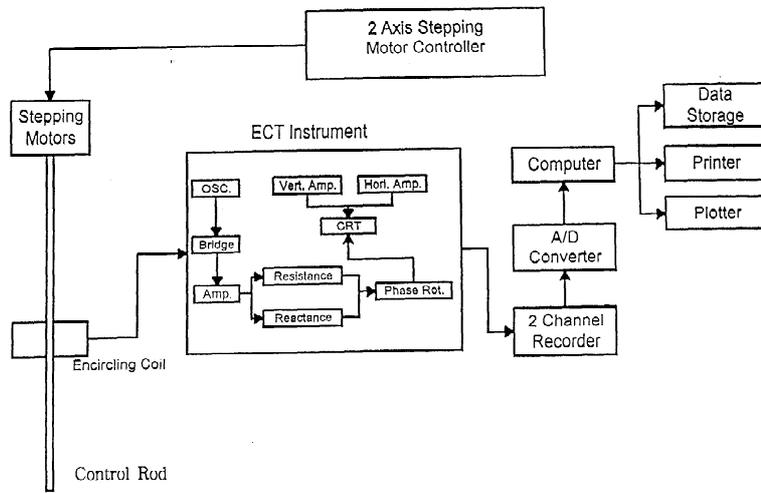


Fig. 1. Schematic Diagram Eddy Current Examination at Hot Cell.

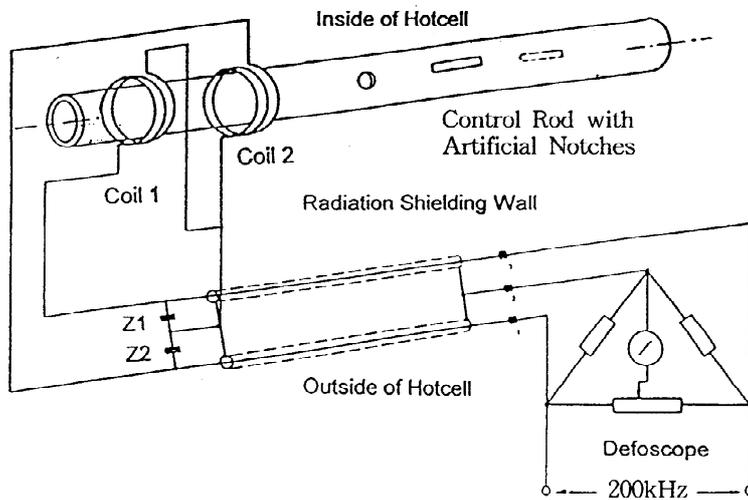


Fig. 2. Schematic Diagram of Probe and Standard Specimen.

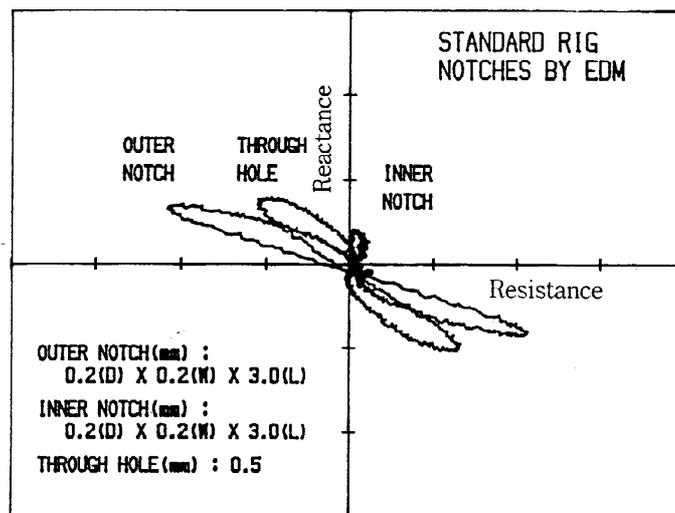
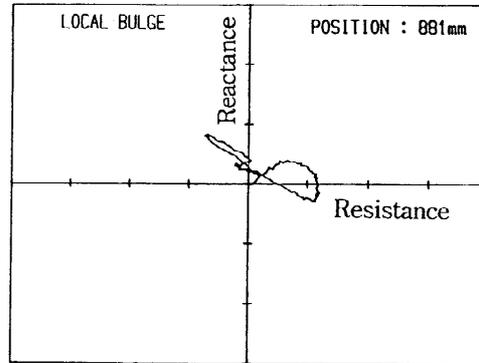
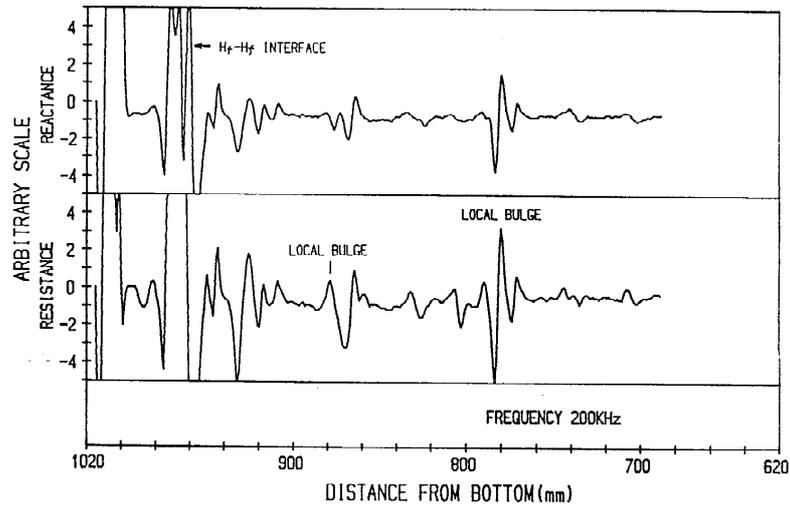


Fig. 3. Eddy Current Signals of Artificial Notches in Standard Rig.

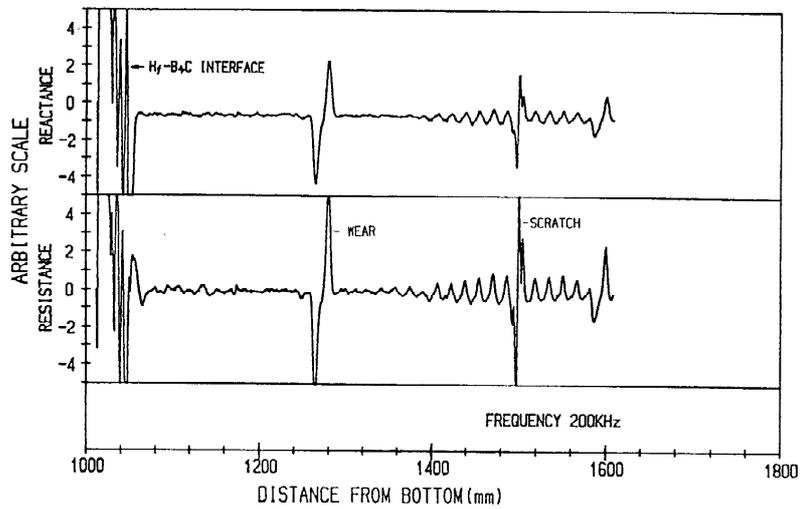


(a)

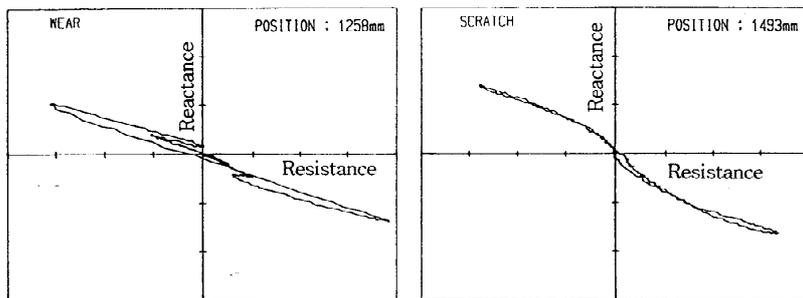


(b)

Fig. 4. Eddy Current Signals of Defective Control Rod A.
 (a) Eddy Current Signal in Impedance Plane,
 (b) Resistance and Reactance of Eddy Current
 in Defective Control Rod A.



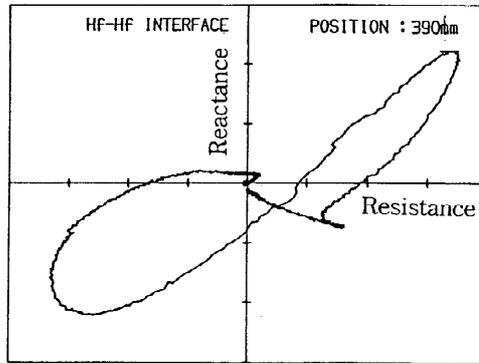
(a)



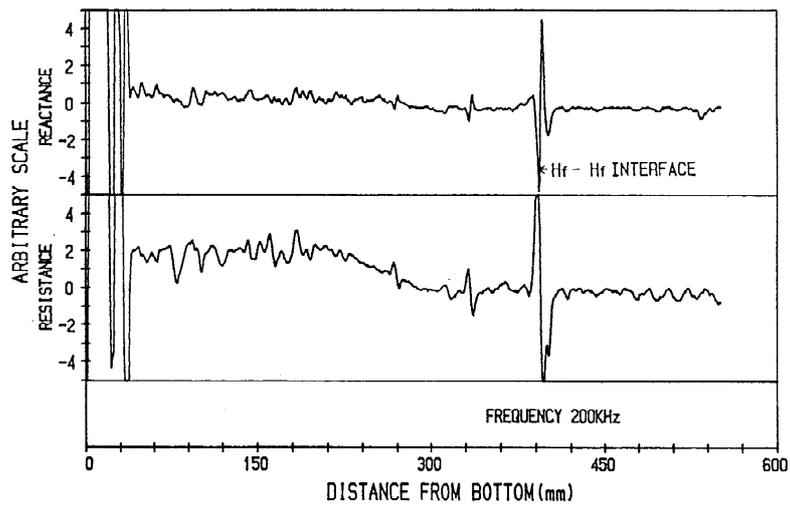
(b)

Fig. 5. Eddy Current Signals of Defective Control Rod A.

(a) Resistance and Reactance of Eddy Current in Defective Control Rod A. (b) Eddy Current Signal in Impedance Plane.



(a)



(b)

Fig. 6. Eddy Current Signals of Control Rod B. (a) Eddy Current Signal in Impedance Plane, (b) Resistance and Reactance of Eddy Current in Control Rod B.