

### 사용후 핵연료봉의 와전류시험 평가

양승열, 손영준, 전용범

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

금속 등의 도체에 시간적으로 변화하는 자속을 작용시키면, 도체의 내부에 와전류가 유도된다. 와전류는 도체내의 균열 등의 불연속이 존재하면, 그 크기와 분포가 변화한다. 이 와전류의 변화를 이용하여 결함을 검출하는 시험방법이다. 즉, Encircling Coil Type의 경우 피 탐상체의 바깥쪽에서 Exciter Coil로 피 탐상체에 와전류를 발생시키고, 이 와전류와 결함과의 상호작용에 의한 와전류의 변화를 관의 바깥쪽에서 Receiver Coil로 감지하여 결함을 검출해낸다. Eddy Current Test에서는  $\sigma$ (전기전도도),  $\mu$ (자기투자율), D(Dimension)의 변화를 Electromagnetic Induction(전자기유도) 원리에 의해 감지하므로 전자유도시험 이라고도 한다. 와전류란 교류 자장 속에 전도체를 놓았을 때 전도체에 유도되는 와류 모양의 전류를 말하고, 와전류탐상 검사는 검사체에 와전류를 발생시켜 시험체 내, 외부의 특성변화를 예측하는 비파괴검사 기술 중 하나이다.

본 연구에서는 최적시험조건을 결정하기 위하여 프로브를 표 1과 같이 제작하였다.

Items	Design Spec	
Outer Diameter of Fresh Fuel Rod	10.72mm	9.8mm
Lift-off between Coil and Fresh Fuel Rod	0.6mm	0.5mm
Wire Diameter	0.08mm	0.1mm
Width of Coil 1 and Coil 2	0.6mm	0.5mm
Number of Coil Winding	50 Turns	40 Turn
Coil to Coil Spacing	0.6mm	0.5mm

Table 1. Design specification of ECT probe

표준시편은 관통결함, 외부결함, 내부결함으로 구성되어 있으며, 결함유무 및 형태를 알 수 있는 시험조건을 찾기 위하여 위상 및 감도특성시험을 수행하였다. 그림 1은 핫셀 내, 외부에서의 와전류시험 계통도를 나타낸 것이며, 미조사피복관에 관통결함, 외부결함, 내부결함을 가공하여 최상의 시험조건을 결정하는 것을 나타낸 것이다.

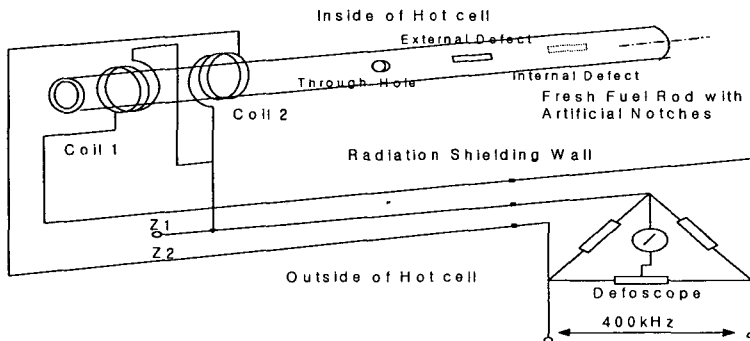


Fig 1. Schematic diagram of probe and standard specimen

제작된 시편에 대한 위상특성시험을 수행하기 위하여 와전류시험 주파수를 100kHz에서 500kHz까지 변화시키면서 관통결함에 대한 와전류신호를 측정하였으며, 시험 주파수가 증가함에 따라 와전류 신호의 위상이 커짐을 알 수 있었다. 결함유형에 따른 위상특성을 구하기 위하여 관통결함에 대하여는 시험 주파수와는 무관하게 위상을 45°로 고정한 상태에서 내부결함 및 외부결함에 대한 위상특성시험을 수행하였고, 위상특성시험결과는 내부결함의 경우에는 시험 주파수가 커짐에 따라 위상이 증가하고, 외부결함의 경우에는 감소하였으며, 200kHz 이상에서 외부결함의 위상과 내부결함의 위상이 뚜렷이 구분됨을 알 수 있었다. 또한 결함유무 및 크기 판단을 위한 감도특성시험을 수행하였고, 200kHz에서 감도가 가장 우수하였다. 따라서 위상이 뚜렷이 구분되는 조건을 만족하면서 감도가 우수한 최적 주파수는 200kHz-400kHz 이었다.

연구결과 와전류시험용으로 차동 환상형 프로브 및 핵연료봉 표준시편을 설계, 제작하여 와전류 신호특성을 분석한 결과 결함형태 및 결함위치를 정확히 판별하였고, 와전류시험 장치의 신호 신뢰성이 양호함을 확인하였다. 분석된 와전류 신호특성을 이용하여 원자로 조사 핵연료봉에 와전류 시험검사법을 적용하여 얻은 결과는 연료봉 결함부위를 파괴하여 찍은 금속조직시험결과와 잘 일치하였다. 그림 2는 상부 및 하부에 생긴 관통결함의 와전류신호를 나타내었고, 그림 3은 미세한 외부결함 신호와 전체 ECT 시험결과를 나타낸 것이다.

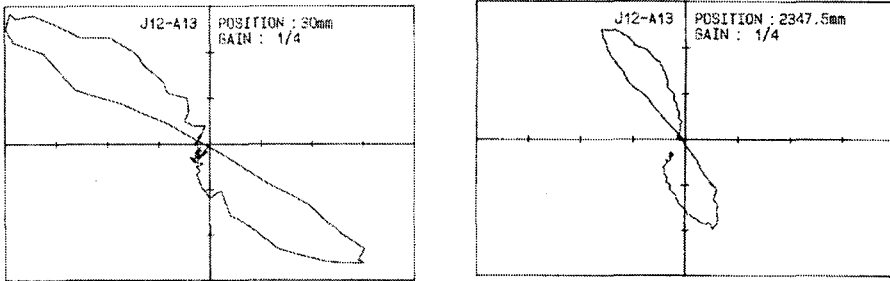


Fig 2 ECT signal through-hole

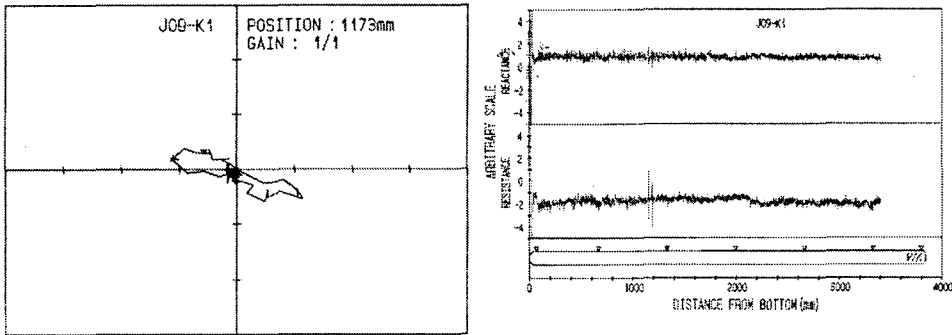


Fig 3. ECT signal full scanning and External Defect