

주철관 원거리장영역 결함에 대한 수치해석적 자기장 연구

고등기술연구원 정진오*, 이재경, 김형진

Finite element analysis of remote field eddy current magnetic field for machined defects

Institute for Advanced Engineering
J.O. Jeong, J.K. Yi and H.J. Kim

1. 서론

전도성 배관 내에 여자기 코일을 두고 저주파 교류 전류를 인가하면, 여자기에 의해 유도된 직접 자기장은 배관 벽체에서 유기된 와전류와 상호 작용하여 급속히 소멸된다. 그러나 축방향으로 배관내경의 2-3 배 떨어진 내부영역에서는 여자기 인근의 배관을 투과하여 외부에 형성된 자기장이 배관을 다시 투과하여 내부로 들어오는 간접 자기장이 형성된다. 이 간접자기장 영역에 탐지 코일을 두고 배관 벽체 내/외부의 이상상태를 비파괴 평가하는 방법을 원거리장와전류 (remote field eddy current, RFEC)라 한다. 1950 년대에 유정 관의 외부부식을 평가하기 위한 도구로 연구된 이래, 이론적 개념정립을 거쳐서 최근에는 열교환기 세관, 송유관, 원자력 발전소 핵연료채널, 상수도관 등의 다양한 분야로 응용 연구되고 있다 [1-3]. 본 논문에서는 기계가공 결함부를 가진 덕타일 주철관을 대상으로 원거리장와전류로 유기된 자기장 분포를 유한요소해석 S/W 인 MagNet 6.0 을 이용해서 연구하였다. 부분 결함에 의해 변형되는 자기장 분포를 살펴보고 이를 근거로 하여 특정 결함을 검출할 수 있는 탐지기의 최소 fill factor 를 결정하는 방법을 검토하였다.

2. 방법

기하학적 조건을 고려하여 결함을 일정한 폭과 깊이를 가진 원주방향 결함으로 단순화하여 모델링하였다. 따라서 중심축과 결함의 중앙을 포함하는 평면을 중심으로 면대칭으로 간주하여 1/2 의 공간에 대해 해석을 수행하였다. 여자기 코일은 두께 20mm, 내경 80mm, 길이 20mm 로 모델링하였고, 전도도가 $5.77e^7$ s/m 인 구리코일에 주파수 150Hz 로 100A·turns 전류를 인가하였다. 탐지기 코일을 모델링하여 MagNet 에서 제공하는 global parameter 인 flux linkage 값을 이용하여 유기 전압의 크기를 계산하였다. 피검 배관의 기하학적 치수는 외경 121mm 두께 6.8mm 이다. Air box 는 관심대상 영역의 계산 결과에 경계조건이 영향을 미치지 않도록 반경방향 500mm 축방향 700mm 으로 충분히 넓게 정의하였다. 결함을 해석하고 결함영역의 자기장 분포를 보기 위하여 모델링된 결함의 종류는 표 1 과 같다.

Table 1. Defect shapes used for the analysis

	Pipe1	Pipe2	Pipe3	Pipe4	Pipe5
결함 깊이	50%	50%	50%	75%	25%
원주방향 결함 범위	45 도	90 도	180 도	90 도	90 도
결함 길이	20mm	20mm	20mm	20mm	20mm

3. 결과 및 고찰

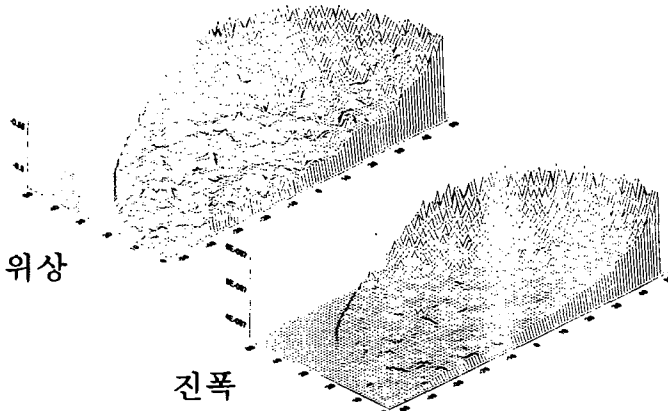


Fig. 1. B field amplitude profile at the position of a 180 degree angular defect

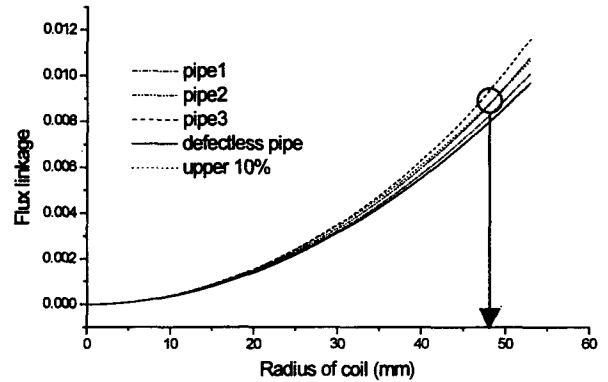


Fig. 2. Flux linkage change along radius of coil with angular variation of defects

Fig. 1 은 180 도 결함위치에서 자기장의 세기 및 위상차 분포의 결과이다. 결함이 있는 벽면에서 크고 배관 중심으로 갈수록 그 크기가 작아진다. 위상과 진폭신호의 감소정도를 살펴보면 진폭신호의 감소정도가 더 급격함을 알 수 있는데, 이러한 감소율의 차이가 위상차 신호와 진폭 신호의 fill factor 민감도를 다르게 하는 요인이 된다. Fig 2 는 결함 깊이에 따른 linkage flux 의 변화를 나타낸다. 코일의 반경이 일정할 경우 결함 깊이가 깊을수록 무결함 배관에서 얻은 값과 차가 커지므로, 결함 깊이의 증가는 결함 측정에 필요한 fill factor 값을 작게 해준다. 예를 들어 결함 평가시 배경 신호의 $\alpha\%$ (그림 2 에서는 10%로 가정) 혹은 β 값 이상의 변화를 탐지 코일이 감지할 수 있는 문턱값 (threshold voltage)라 가정한다면, pipe2 의 결함을 판단할 수 있는 detector 의 coil 반경이 최소한 48mm (fill factor=79.9%) 이상이 되어야 함을 보여준다.

4. 결론

유한 요소 해석 상용 프로그램인 MagNet TH3D 를 이용하여 부분 결함이 있는 배관을 대상으로 원거리장 영역의 자기장 분포를 해석하고, minimum fill factor 결정방법을 연구하였다. MagNet 6.0 의 ascii 데이터를 후처리에 이용하기 위해 3D time harmonic solution extractor 를 제작하였고 유기 전압을 계산하기 위해 탐지 코일을 모델링 하여, 결함이 있는 위치에서 자기장 크기와 위상차 분포 및 유기 전압을 계산하였다. 반경에 따른 결함 위치에서 flux linkage 와 탐지기 문턱값의 비교를 통해서 탐지코일의 minimum fill factor 를 결정하는 방법을 제시하였다.

5. 참고문헌

- [1] T. R. Schmidt, "The remote field eddy current inspection technique", Materials Evaluation, Vol. 42, No. 2 (1984) 225-230.
- [2] Jae K. Yi and David L. Atherton, "Remote field gap evaluation for nuclear fuel channel tubes", Materials Evaluation, Vol. 56, No. 6 (1998) 771-773.
- [3] S. Chifa and A. Andreescu, "Transducer for establishing the integrity of influent water pipes", Sensors and Actuators A, Vol. 59 (1997) 208-212.