

자기 누설 탐상 방식을 이용한 소형 비파괴 검사기 개발

성경준, 조봉균, 이근보, 홍용환, 박치용, 박일환, 박정길, 박관수
 부산대학교 전자전기정보컴퓨터공학부

Development of the small NDT gauge using Magnetic Flux Leakage

Kyung Jun Seong, Bong Kyun Jo, Gen Bo Lee, Young Whan Lee, Young Chi Park, Il Whan Park, Gil Jung Park, Gwan Soo Park

Division of Electrical and Communication Engineering, Pusan National University

Abstract - 자기누설 탐상시스템은 자성체인 구조물에서 검사 대상 물체를 자화시켜 결합부위에서 자기 누설의 여부를 측정함으로써 구조물의 결함, 부식 등을 탐지하는 시스템이다. 본 논문에서는 소형 비파괴 검사시스템을 설계하고 제작하였다. 또한, 3차원 유한요소법을 이용하여 해석하고 측정하여 그 결과를 비교 분석하였다.

2. 본 론

2.1 자기누설 탐상시스템의 원리

본 논문에서는 대형시스템에서와 마찬가지로 검사 대상을 자화시켜 자기회로를 형성하고, 센서에 의해 자기 누설을 감지하여 검사대상의 결함을 탐지하는 자기누설 탐상방식을 사용하였다.

1. 서 론

구조물의 비파괴 검사법으로는 Magnetic Fluid를 이용한 Visual Method, Magneto Striction Method, Ultra Sonic Method, Acoustic Emission Method, 방사능 활용법, Eddy Current Method, Eddy Current에서 Coil을 분리한 Far Field Eddy Current Method 등이 있으며, 그 중에서 도전율과 투자율을 동시에 갖는 금속재료의 손상, 균열, 부식, 피로, 용접부위 검사로는 자기누설탐상법(MFL, Magnetic Flux Leakage Method)과 같은 전자기적인 방법이 주로 사용된다[1][7].

자기누설 탐상법은 지하나 수중에 매설되어 측정이 어려운 배관의 부식정도를 측정하기 위한 것으로, 배관 내부에 삽입되어 주행하면서 지하에 매설되어있는 배관의 내, 외벽에 발생하는 결함이나 부식상황을 감지하는 방법이다. 오늘날에는 배관을 건설, 유지·보수, 해체하는 작업, 즉 배관을 운용하기 위한 모든 단계에서 사용되고 있다. 그러나 이런 기법은 지나치게 크기가 크고 무거워서 다양한 분야에 적용하기에 어려움이 많다. 현재 국내에서 운용되는 대표적인 용도는 한국가스공사에 의하여 매설되고 관리되고 있는 가스용 배관의 검출 시스템이다 [8][14].

본 논문에서는 대형시스템에서 축적된 기술을 기반으로 하여 대형과 같은 정밀도를 가지면서 건축, 토목구조물이나 선박 등 산업현장 등 다양하고 소규모 현장에서 실용적으로 활용할 수 있는 소형의 비파괴 결함 검출 기기를 연구 개발하고자 한다.

자기누설 탐상시스템의 개요는 다음과 같다. 검사하고자 하는 대상물체에 외부에서 자기장을 인가하여 착자시킨 다음, 그림 1과 같이 자기회로를 형성시킨다. 이 때 만약 대상물체가 자화되고 결합이 있을 경우는 대상물체의 일부분에서 단면적이 줄어들게 되어 자기저항이 커지게 되고, 외부로 자기누설이 발생하게 된다.

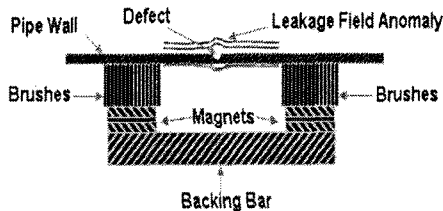


그림 2 자기누설 탐상법의 원리

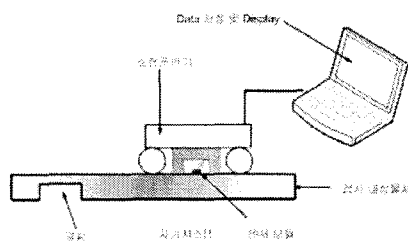


그림 3 소형 비파괴 검사기 개요도

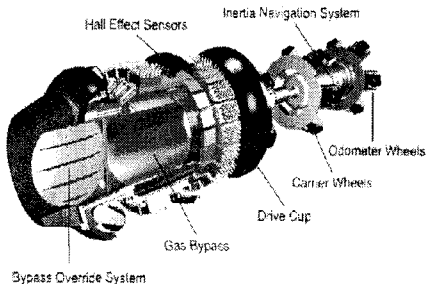


그림 1 지하매설 배관검사용 MFL-PIG

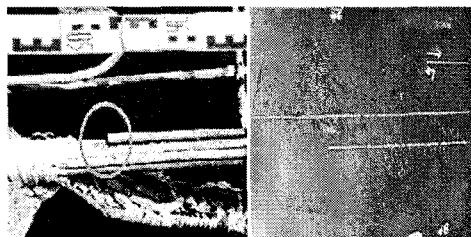


그림 4 구조물 결함의 예(좌:파이프 우:철관)

2.2 자기누설 탐상체의 설계

MFL yoke는 자기누설 탐상 시스템으로 건물 내부를 검사하기 위해 적용한 것으로 건물 내부의 철근을 착사시키기 위한 전자석을 만드는 것을 목적으로 한다. 본 탐상체는 자기 효율을 높이기 위해 투자율이 큰 규소 강판을 사용하였고, 0.5mm두께의 강판을 연속적으로 적층하여 제작하였다. 또한, c-자형 마그네틱 철심 사이에 홀 센서를 장착하여, 자성체인 철구조물의 결함에 의해서 생기는 누설 자속을 Hall 센서가 검출하도록 하였다.

탐상체로부터 발생하는 자속 Φ 는

$$\Phi = BA \quad (1)$$

여기서 B 는 자속밀도, A 는 자기경로 단면적이다. 탐상체 규소강의 자기저항 R 은

$$R = \frac{l}{\mu A} \quad (2)$$

여기서 l 은 자기경로 길이, μ 는 투자율, A 는 단면적이다.

따라서 탐상체로부터 발생하는 기자력 F 는

$$F = NI = R\Phi \quad (3)$$

여기서 N 은 코일의 감은 횟수, I 는 전류이다.

식(1)과 식(2)를 식(3)에 대입하여, 전류 I 를 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$I = \frac{R\Phi}{N} = \frac{lB}{\mu N} \quad (4)$$

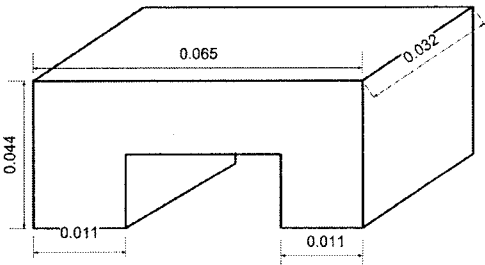


그림 5 탐상체 설계도

표 1 탐상체 설계 데이터

Yoke Body	길이(l)	0.065m
	높이(h)	0.044m
	폭(w)	0.032m
	단면	길이(l)
폭(w)		0.032m
면적(A)		0.000352m ²
Coil	직경(d)	0.005m
	턴수(N)	1000t

2.3 자기누설 탐상체의 제작

탐상체 Body 제작에 있어서, 0.5mm두께의 규소강판을 그림 6과 같이 적층하여 제작하였다.

2.4 자기누설 탐상체의 자기장분포 해석

센서에 의해 측정되는 자속밀도는 탐상체로부터 발생하는 자기분포에 의해 결정된다. 따라서, 그림 7과 같이 3차원 유한요소법을 이용하여 검사체의 방향에 따른 자기장 분포를 해석하였다. 검사체가 탐상체와 수직인 경우(Case II) 탐상체의 말단부와의 거리로 인해 자기저항이 크므로, 검사체가 탐상체와 같은 방향인 경우(Case I)에 비해 충분한 자화가 이루어지지 않는 것을 알 수 있다.

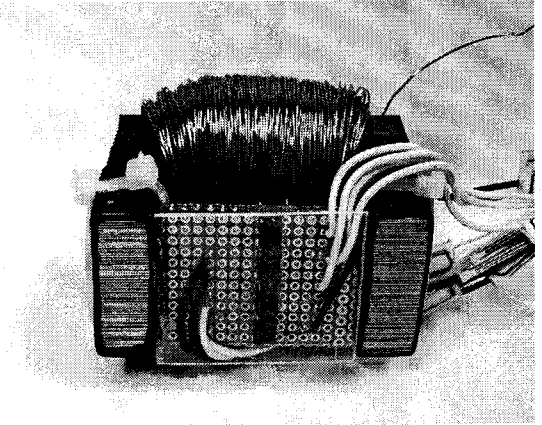
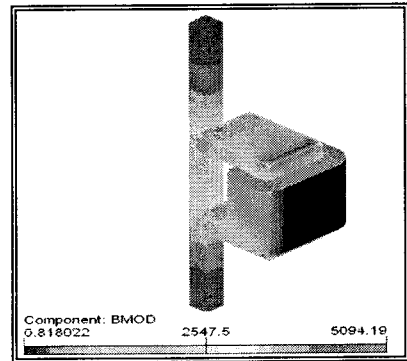
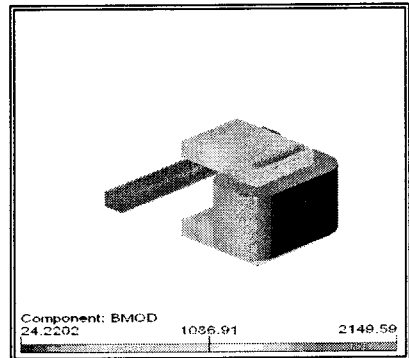


그림 6 적층 제작된 탐상체



(a) Case I



(b) Case II

그림 7 3차원 유한요소법을 이용한 자기장 분포

2.5 소형 비파괴 검사기의 탐지감도

검사체의 면적과 이격거리의 변화가 탐지에 어떤 영향을 미치며, 이로부터 탐지 한계를 도출하기 위해 검사체 면적과, 이격거리에 따른 변화를 시뮬레이션 결과와 실험 데이터를 통해 비교해 보았다.

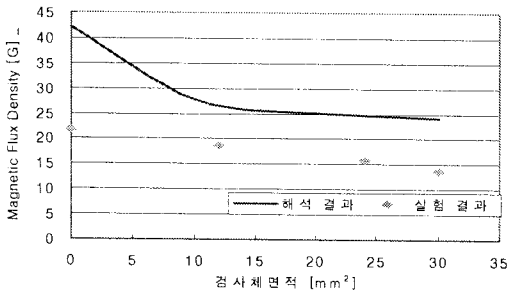


그림 8 검사체의 면적과 이격거리 따른 누설자속의 변화

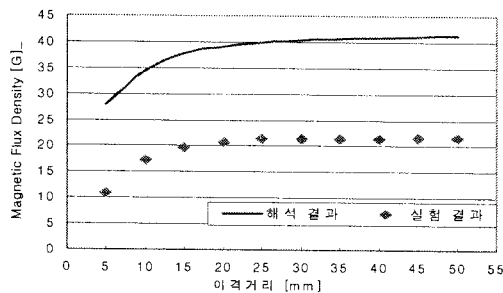


그림 9 검사체의 면적과 이격거리 따른 누설자속의 변화

시뮬레이션 결과와 실험 데이터의 비교에 있어서, 자속밀도 값의 크기가 차이를 보이는 것은 탐상체의 철손을 비롯한 실험상의 오차로 볼 수 있다. 그러나 각 실험에 대해 오차는 일정하다 볼 수 있으므로 그래프의 경향성은 신뢰할 수 있다.

그림 8을 통하여, 검사체의 면적이 커지면 검사체가 충분히 자기포화 되지 못하므로 센서에 감지되는 누설자속은 감소하는 경향이 있음을 볼 수 있다. 특히, 12mm² 이상에서는 자속밀도 차이가 적으므로 탐지 가능한 검사체의 최대 단면적은 12mm² 인 것을 알 수 있다.

그림 9를 통하여, 검사체와의 이격거리가 멀어질수록 자기회로상의 자기저항이 커지므로 누설자속이 증가하는 경향을 가진다. 그러나 이격거리 20mm 이상에서는 누설자속 증가폭이 적으므로 탐지 가능한 검사체의 최대 이격거리는 20mm 인 것을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 자기누설 탐상방식을 이용한 소형 비파괴검사기를 설계하였다. 설계된 검사기를 이용한 실험을 통해 검사체의 면적과 이격거리에 따른 측정 한계를 도출하기 위해 시뮬레이션 해석 결과와 비교하고 분석하였다, 분석결과 일정 한계 이하의 검사체 면적과 이격거리에서 검사체의 상태 탐지가 가능했으며 탐지능력 향상과 소형화를 위한 개선 방향을 도출할 수 있었다.

탐지감도 향상을 위해서는 탐상체로부터의 더 많은 유기자속이 필요하다. 솔레노이드 형에서는 코일 턴수를 늘이는 방법과 더 많은 전류를 인가하는 방법 등이 있으나, 이는 코일 저항의 증가를 비롯한 열손실 증가로 이어지므로 에너지 효율이 떨어진다는 결론을 얻었다. 또한, 열손실을 무시할 경우에도 충분한 유기자속을 얻기 위해서는 검사체보다 먼저 포화 되지 않을 크기의 단면적이 필요하다.

이를 해결하기 위해서는 영구자석형 탐상체가 유리하다는 결론을 얻었다. 영구자석을 이용하면 유기 자속 증가가 쉽고, 열손실도 무시할 수 있으며, 에너지 소스가 필요하지 않으므로 이동성도 더욱 높일 수 있다.

향후, 영구자석형으로서 Nd 자석을 이용하여 Magnetic Flux(Φ)를 증가시키고 단면적을 증가시켜 탐상체의 탐지감도를 향상시키고, 검사체 판정 알고리즘 구현이 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] Ruiz, N. Vera, P. Curpian, J. Martinez, D. Mata, "Matching pursuit-based signal processing method to improve ultrasonic flaw detection in NDT applications", Electronics Letters, vol.39, issue 4, Feb. 2003, pp.413-414
- [2] Dyck, D.N. Gilbert, G. Forghani, B. Webb, J.P. "An NDT pulse shape study with TEAM problem 27", Magnetics, IEEE Trans. on, vol.40, issue 2, March 2004, pp.1406-1409
- [3] Clauzon, T. Thollon, F. Nicolas, A. "Flaws characterization with pulsed eddy currents NDT", Magnetics, IEEE Trans. on, vol.35, issue 3, May 1999, pp.1873-1876
- [4] Hyang-Beom Lee, Dong-Hun Kim, "Impedance calculation for a plate with crack in eddy current NDT using 3D indirect BIEM", Magnetics, IEEE Trans. on, vol.36, issue 5, Sept 2000, pp.3131-3133
- [5] Chen, W.; Zhang, G.S.; Sun, Y.S.; Chen, M.J, "Integrated third kind boundary condition for 2D eddy current problems and its application in NDT", Magnetics, IEEE Trans. on, vol.29, issue 2, Mar. 1993 pp.1812-1815
- [6] Hyang-Beom Lee, Dong-Hun Kim, "Numerical analysis of eddy current NDT for a tube with cracks using 3D indirect BIEM", Magnetics, IEEE Trans. on, vol.35, issue 5, Sept. 1999, pp.3724-3726
- [7] Vasic, D. Bilas, V. Ambrus, D. "Pulsed eddy-current nondestructive testing of ferromagnetic tubes", Instrumentation and Measurement, IEEE Trans. on, Vol.53, Issue 4, Aug 2004, pp.1289-1294
- [8] Ida, N. Lord, W, "A finite element model for three-dimensional Eddy current NDT phenomena", Magnetics, IEEE Trans. on, Vol.21, Issue 6, Nov. 1985, pp.2635-2643
- [9] Gros, X.E. Zheng Liu, Tsukada, K. Hanasaki, K "Experimenting with pixel-level NDT data fusion techniques", Instrumentation and Measurement, IEEE Trans. on, vol.49, issue 5, Oct. 2000, pp.1083-1090
- [10] H. Haines et al., "Advanced MFL signal analysis aids pipe corrosion detection", Pipeline & Gas Industry, Mar. 1999, pp. 49-63,
- [11] K. K. Tandon, "MFL Tool Hardware for Pipeline Inspection", Materials Selection & Design, Feb. 1997, pp. 75-79
- [12] D. L. Atherton and M. G. Daly, "Finite Element Calculation of Magnetic Leakage Detector Signals", NDT International, vol. 20, no. 4, Aug. 1987, pp. 235-238
- [13] J. Bruce Nestleroth, Steven W. Rust, and David A. Burgoon, "Determining Corrosion Defect Geometry from Magnetic Flux Leakage PIG Data", The NACE International Annual Conference and Exposition CORROSION 96, Paper No. 44, 1996, pp. 1-11
- [14] S. Mandayam, L. Udpa, S. S. Udpa and W. Lord, "Wavelet-based permeability compensation technique for characterizing magnetic flux leakage images" Data", NDT&E International, vol. 30, No. 5, 1997, pp. 297-303,
- [15] Gwan Soo Park, Sang Ho Park, "Analysis of the velocity-induced eddy current in MFL type NDT", Magnetics, IEEE Trans. on, vol.40, ilssue 2, Mar. 2004, pp.663-666