

# 전자기 비파괴검사의 소개

신 영 길  
군산대학교 전기공학과

## Introduction to Electromagnetic Nondestructive Testing

Young-Kil Shin

Dept. of Electrical Eng., Kunsan National University

**Abstract** - The purpose of this paper is to attract electrical and electronic engineering community's attention to electromagnetic nondestructive testing (NDT). Various electromagnetic NDT methods of detecting defects in materials are presented to help understand the underlying physics associated with these techniques. This understanding would provide a way to interpret the test signal to describe about the defect. In the meantime, the author hopes, one may realize how perfectly fit such a subject as electromagnetic NDT is to current curriculums of electrical and electronic engineering.

### 1. 서론

생산제품이나 사용중인 장비, 장치의 결함은 경제적 손실뿐만 아니라 인명, 환경등에 커다란 피해를 가져올 수 있다. 따라서, 이러한 재해들을 방지하기 위한 검사가 행해지고 있는데, 크게 파괴검사와 비파괴검사로 나뉘어 진다.

파괴검사[1]는 피검사체의 기본적인 작동이 가능한 가장 혹독한 조건을 찾아내어 설계및 운용의 기본자료를 제공하는 극한검사와 실제 운용상황에서 피검사체가 받는 영향을 파괴적으로 알아보는 환경검사로 나누어 볼 수 있다. 이에 반해, 비파괴검사[2]란 일련의 검사가 행해진 후 피검사체 고유의 사용목적이 영향받지 않도록 검사하는 기술을 말한다. 각기 장단점은 있으나, 몇개의 샘플만을 검사하여 일반화하는 파괴검사에 비해, 모든 제품의 검사가 가능한 비파괴검사의 방법론적 장점만은 명확하다할 수 있다. 또한, 비파괴검사는 제작과정에서의 품질보장뿐만 아니라, 운용과정에서의 신뢰성, 안전성등을 계속해서 감시하여 합격/불합격 판정을 내리는 역할도 수행하고 있어, 최근에는 비파괴평가(Nondestructive Evaluation; NDE)라는 용어로 대체되고 있다[3].

비파괴검사에는 다양한 물리적 원리들이 사용되고 있는데, 대부분 그림 1.에 보인 바와 같이 탐촉자를 통한

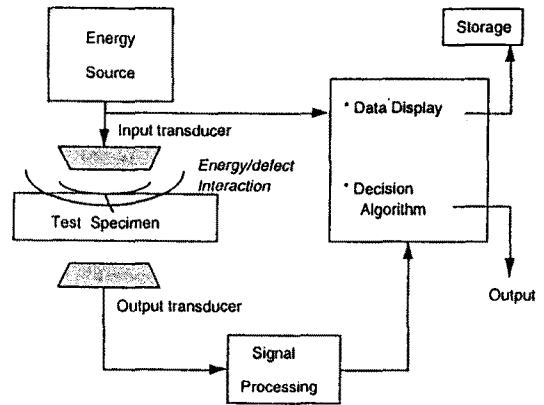


그림 1. 일반적인 비파괴검사 방식

어떤 종류의 에너지가 피검사체와의 상호작용에 의하여 발생시키는 출력신호를 채취하여 이를 비교, 분석함으로써 피검사체의 상태를 진단하는 형태를 취하고 있다[4]. 그 종류로는 방사선, 초음파, 전자기, 음향방출, 액체침투 등을 이용한 방법들로 구분해 볼 수 있다.

이중, 전자기 비파괴검사는 국내에서 원자력발전소, 중화학 공업분야, 철도, 항공업계 등에서 다른 방법에 비해 제한적으로 사용되어 왔으나, 최근에는 국내 비파괴검사 업계에서의 관심이 증대되고 현장응용도 확대되고 있는 실정으로 산업계, 연구소 및 대학에서의 관심과 활발한 연구활동이 기대되고 있는 분야이다. 더구나, 각종 전자기 비파괴검사의 기본이 되는 검사 원리와 결함의 크기 및 위치 판단을 위한 신호해석등은 현재 전기 및 전자계열 학과의 교과과정에서 무난히 소화해 낼 수 있는 분야 이므로, 관련 인력 배출에 크게 기여할 수 있을 것이다.

따라서, 본 해설에서는 전압강하법, 자분탐상, 자속누설탐상, 와전류탐상 등의 전자기 비파괴검사에 사용되는 여러가지 방법과 그 원리를 설명한다.

## 2. 전자기 비파괴검사의 종류

전자기 비파괴검사 방법들은 DC 에서부터 microwave 에 이르기까지 넓은 영역의 주파수를 사용할 수 있다. 그러나, 아직까지는 초고주파를 이용한 실용적인 방법은 제시되지 않고 있고, 검사 현장에서 주로 사용하는 방법들은 DC 나 저주파를 이용하고 있다.

### 2.1. 전압 강하법 (Potential Drop Method)[5]

파괴역학에서 갈라진 틈(crack)이 장력으로 인해 자라나는 것을 모니터하기 위해 사용되는 방법으로, 물체의 전도도 측정을 위해 흔히 사용되는 4 탐침법과 같은 원리를 이용한다.

그림 2는 소형 장력(Compact Tension) 시편에 직류 전류를 흘려주고, 틈이 자라남에 따라 변화하는 전압을 각각의 초기상태 값에 대한 비로 나타낸 것이다. 틈이 자라나면 전류가 통과할 수 있는 단면적은 작아지고 또한 전류가 흘러야 할 길이는 길어지므로, 저항이 증가하게 되며 따라서 두 점사이의 전압은 증가하게 된다. 이와같은 결과를 활용하면, 단순히 전압만을 측정하여 틈의 깊이를 예측할 수 있다. 이밖에 교류를 이용한 전압 강하법도 사용되고 있다[6].

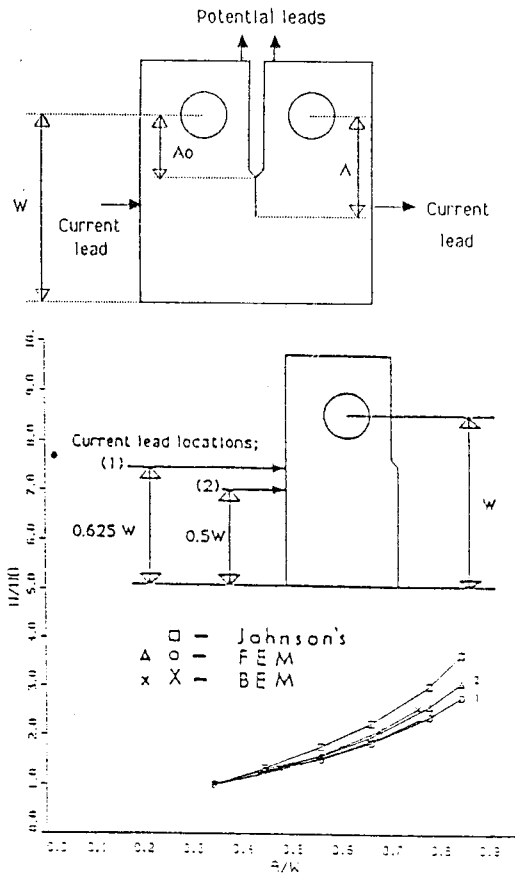


그림 2. Compact Tension 시편과 전압강하 검사결과

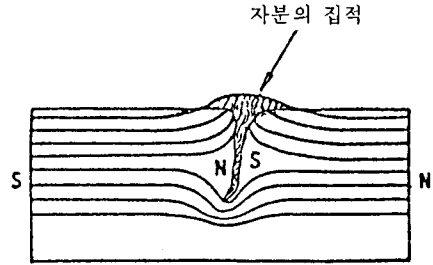


그림 3. 결함에 의한 누설자속 및 자분탐상 결과

### 2.2. 자분 탐상법(Magnetic Particle Testing)[7]

직류 전류를 사용하여 강자성체를 자화시키면, 결함이 있을 경우 결함 양쪽에 그림 3.과 같이 N극과 S극이 형성되고, 결함내의 자기저항은 강자성체의 자기저항보다 커지므로 자속선의 분포를 변화시켜 누설자속을 발생시키게 된다. 이는 마치 결함 자체가 하나의 작은 자석과 같은 역할을 하는 것으로, 이때 자분을 뿌리면 자분들은 결함주위에 몰리게 되어 결함의 존재를 쉽게 알 수 있게 한다.

비록 자속 방향이 결함이나 불연속부의 형태에 수직이어야만 효과를 볼 수 있는 어려움이 있기는 하나, 현장에서 가장 손쉽게 사용할 수 있는 방법이다. 그러나, 이 방법은 결함에 대한 수치적 정보를 충분히 알려 주지 못하는 단점이 있다.

### 2.3. 자속누설(Magnetic Flux Leakage) 탐상법[8]

자분탐상의 단점을 보완해 줄 수 있는 방법으로 결함에 의해 발생하는 누설자속을 자화테이프나 홀(Hall) 소자와 같이 자속에 민감한 탐촉자로 측정하여 결함에 대한 정보를 수치적으로 제공해 줄 수 있는 방법이다. 누설자속은 전류의 연결이 끊어진 후에도 존재하며 이를 잔류자속 누설 탐상이라 한다.

그림 4는 결함 주위에 분포하는 누설자속의 법선성분을 홀소자로 측정하는 상황과 결과를 보인 것이다. 결과에 나타난 신호형태는 전류의 방향이 반대가 되면 상하가 바뀔 것이다. 이때, B점과 D점 사이의 거리, 자속밀도의 크기 등과 표준결함과의 상관관계를 알아보면 홀소자 신호로 결함의 크기, 깊이 등을 예측할 수 있다.

큰 물체의 검사에 위와같은 접촉식 방법을 사용하면 높은 전류가 필요하게 되고 전기 접촉에 의한 손상도 발생되므로, 비접촉식 방법들이 많이 사용되고 있다.

### 2.4. 와전류 탐상법(Eddy Current Testing)[9]

낮은 주파수의 교류가 인가된 코일을 전도체에 가까이 가져가면, Maxwell - Faraday의 법칙에 의거, 전도체내에 와전류가 유도된다. 와전류는 자기 자신의 자계를 형성하는데, Lenz의 법칙에 의거, 원래 코일의 자계변화에 반대되는 방향으로 형성된다. 피검사체가

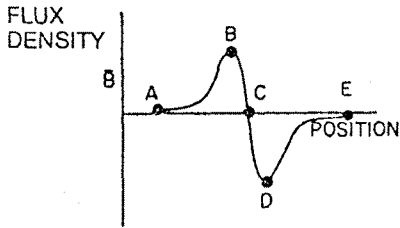
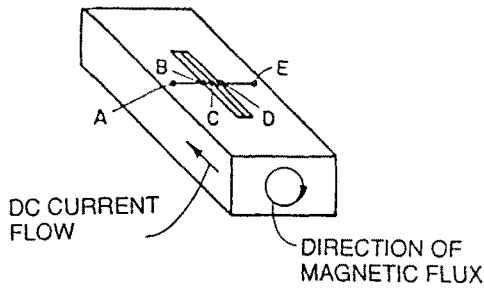


그림 4. 자속누설 탐상 방법 및 결과

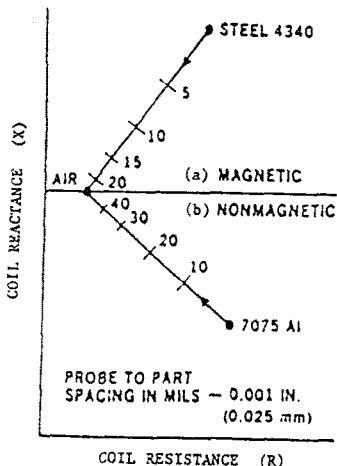
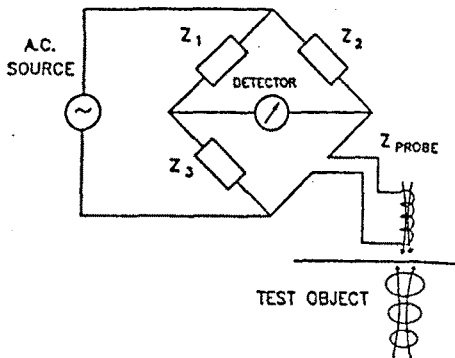


그림 5. 와전류 탐상법과 Lift-off 효과

비자성체일 경우 이는 총쇄교자속의 감소를 의미하며 따라서 코일과 피검사체와의 거리(Lift-off)가 가까워 질수록 코일의 인덕턴스는 줄어들게 된다. 반면에, 강자성체의 경우에는 높은 투자율때문에 총쇄교자속은 오히려 증가하게 되며 따라서 Lift-off가 감소할수록 코일의 인덕턴스는 커지게 된다. 코일의 저항은 피검사 전도체내에서의 와전류 손실때문에 Lift-off가 감소할수록 커지게 된다. 이에에서의 코일 임피던스의 변화는 도체위에 입힌 비전도성 피막의 두께를 재는데 사용된다. 만약 결함이 존재하면 와전류의 분포가 영향받게 되므로 결과적으로 코일의 임피던스를 변화시킨다. 이와같이 와전류 탐상에서는 탐상코일의 임피던스를 측정하므로써 피검사체에 대한 정보를 얻으며 측정된 임피던스는 임피던스 평면에 도시된다. 그림 5.에 와전류 탐상법과 Lift-off 효과가 도시된 임피던스 평면을 보였다.

와전류는 검사대상 이외의 주변영향을 많이 받아 검사시 방해가 되는 경우가 많다. 또한 표피효과로 인해 깊은 곳에 있는 결함의 검출이 곤란하다. 이의 극복을 위해 차등코일, 원거리 와전류(RFEC) 탐촉자[10] 등이 사용되고 있다.

### 3. 결론

전자기 비파괴검사의 종류와 검사원리를 간단히 설명하였다. 이 분야가 전기 전자공학과 얼마나 밀접한 관계를 맺고 있는지 이해할 수 있었기를 바라며, 아울러 교육과 연구면에서 많은 기여가 있기를 바란다.

### 참고 문헌

1. T. E. Bell, "When bust is best", IEEE Spectrum 28, p.56, Mar. 1991
2. H. L. Libby, "Introduction to Electromagnetic Nondestructive Test Methods", R. E. Krieger Publishing Co. 1979
3. R. Halmshaw, "Nondestructive testing" Edward Arnold Publishers Ltd. 1987
4. W. Lord, "Forward and Inverse NDE Problems", Proc. ISMM, edited by N. F. Marsolan, ACTA Press, 1988
5. R. O. Ritchie and K. J. Bathc, "On the calibration of the electrical potential technique for monitoring crack growth using finite element methods", Int. J. Fracture, Vol.15, No.1, p.47, Feb. 1979
6. D. H. Michael and R. Collins, "The ac Field Around a Plane Crack in a Metal Surface When the Skin Depth is Large", J. NDE, Vol.3, No.1, p.19, 1982
7. 비파괴검사의 기초, 제2권 자분탐상검사, 세진사, 1993
8. W. Lord, J. M. Bridges, W. Yen, R. Palanisamy, "Residual and Active Leakage Fields Around Defects in Ferromagnetic Materials", Materials Evaluation, 36, p.47, 1978
9. S. R. Satish, "Parametric Signal Processing for Eddy Current NDT", Ph.D. Dissertation, Colorado State University, 1983
10. T. R. Schmidt, "The Remote Field Eddy Current Inspection Technique", Materials Evaluation, 42, p.225, 1984