

渦電流探傷法(II)

정 용 무

한국원자력연구소 증기발생기 검사실

Eddy Current Testing(II)

Yong Moo Cheong

Korea Atomic Energy Research Institute

머리말 지난 호에 이어 해설란을 통하여 非破壞檢査 技術에 대한 연재를 계속한다. 특정한 非破壞檢査의 전문가가 아니더라도 쉽게 이해할 수 있도록 가급적 수식은 배제하고 기초적인 이론을 소개할 것이며 특히 현장 적용에 중점을 두어 技術하고자 한다. 본 원고에서는 원거리 渦電流探傷法(remote field eddy current testing) 이나 펄스 渦電流探傷法(pulsed eddy current testing)과 같은 특수 渦電流 技術은 제외하였으며 본 연구실에서 내부 교육용으로 사용하는 “渦電流探傷法 Level I 과정”과 미국금속학회에서 발행한 Metal Handbook, 9th ed., Vol. 17, “Nondestructive Evaluation and Quality Control” 및 기타 관련 기술 자료들을 참고하였으나 일일이 명기하지는 않는다.

6. 코일의 설계

交流가 코일을 흘러갈 때 電流의 흐름을 억제하는 交流 抵抗은 導線의 抵抗 R(直流 抵抗)과 X_L 로 표현되는 誘導性 리액턴스의 벡터적인 합으로 표현된다. 交流 抵抗과 直流 抵抗의 비는 주파수가 증가하거나 導線의 직경이 증가할수록 증가한다. 일반적으로 渦電流探傷 理論에서 直流 抵抗은 주로 導線의 온도와 磁場의 공간적 분포에 따라 변화하는 데 보통 渦電流探傷 시에는 거의 변화하지 않으므로 코일 설계시에 무시한다. 誘導性 리액턴스, X_L 은 코일의 인덕턴스와 주파수로 표현되며 단위는 ohms이

다. 코일 내에서 交流의 흐름을 억제하는 抵抗을 임피던스, Z로 표현하여 $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ 이며 여기서 $X_L = 2\pi f L_0$ 이고 f는 주파수(단위=hertz), L_0 는 코일의 인덕턴스(단위=henrys)이다.

시험체를 코일에 접근시킬 때 시험체 내에 발생하는 渦電流로 인하여 코일 근처의 電磁氣場이 변화하는데 임피던스는 보통 임피던스 평면에서 x축을 直流 抵抗 성분으로, y축을 유도성 리액턴스 성분으로 표현하는 2차원 도형으로 나타낸다. 시험체 마다의 각각의 조건에 따른 특정한 코일 임피던스 값을 가지며 임피던스 평면상에 특정한 점으로 나타낼 수 있다. 예를 들어 두께가 다른 여러 금속 시

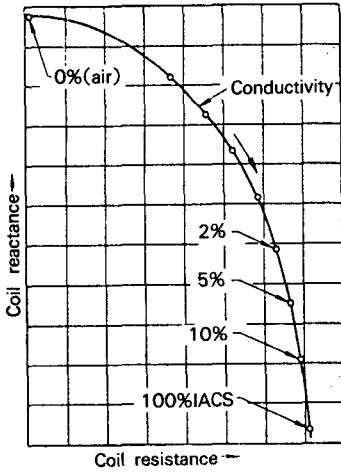


Fig. 11 Typical impedance-plane diagram by placing an inspection coil sequentially on a series of thick pieces of metal, each with differential IACS electrical resistance or conductivity rating. The inspection frequency was 100 kHz.

험체에 코일을 적용할 때 각각은 抵抗 및 임피던스가 다를 것이며 이를 연결하는 임피던스 도형이 그려지는 데 Fig. 11에 IACS(International Annealed Copper Standard)기준에 따른 傳導度 비율에 대해 임피던스 도형을 보였다.

검사 조건에 적합한 코일을 설계하는 것은 渦電流探傷에서 중요한 기술중의 하나이며 코일 임피던스 값을 계산하는 것은 물론 케이스 설계, 코일의 크기, 형태, 및 스타일을 결정해야 하는 데 이 경우에 검사 환경, 마모, 온도, 기계적인 응력, 안정성 등을 고려해야 한다.

코일의 抵抗은 코일을 감는 導線의 길이와 導線材料(구리, 은 등)에 따른 比抵抗 및 導線의 단면적으로 결정된다. 예컨대 도선 굵기 40gauge, 길이 10 foot인 구리선의 비저항이 섭씨 20도에서 10.4ohms/foot-circular mil인 경우의 抵抗을 계산하면

$$\text{저항} = \frac{\text{비저항} \times \text{길이}}{\text{단면적}} \dots\dots\dots (1)$$

이므로 抵抗 R은

$$R = \frac{10.4 \times 10}{9.888} = 10.518 \text{ ohms} \dots\dots\dots (2)$$

抵抗 성분만을 포함한 交流에서는 電壓과 電流가 동일 위상이다. 동일 위상이라 함은 전압과 전류의 최저값 또는 최소값이 동시에 나타나는 경우를 의미하며 抵抗 회로에 의한 열이 발생한다. 인덕턴스는 역학에서 물체의 속도 변화에 반대하려는 현상인 관성과 유사한 개념으로 단위는 henrys이며 1초당 1암페어의 전류가 변화할 때 유도되는 전위를 1 henrys로 정의한다. 코일의 인덕턴스를 계산하는 식은 여러 종류의 경험식이 있는데 그 중 하나를 적어 보면 다음과 같다.

$$L = \frac{0.8(N \cdot r)^2}{6r + 9l + 10b} \dots\dots\dots (3)$$

여기서 N=코일 권선수

r = 평균반경(인치)

l = 코일의 길이(인치)

b = 코일 깊이 또는 두께(인치)

L=自己 인덕턴스 (self inductance, micro-henrys)

交流에서 電流는 항상 변화하기 때문에 인덕턴스는 항상 이러한 변화에 반대되는 방향으로 작용하므로 이를 誘導性 리액턴스 X_L 라고 부르며 단위는 ohms이다.

$$X_L = 2\pi FL \dots\dots\dots (4)$$

여기서 X_L 誘導性 리액턴스(ohms)

F=주파수(Hz)

L=인덕턴스(henrys)

예를 들어 100micro-henrys의 인덕턴스와 5ohms의 抵抗을 갖는 코일을 20kHz의 주파수로 작동할 때 코일의 임피던스는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X_L &= 2\pi FL \\ &= 6.28 \times 200,000\text{Hz} \times 0.0001 \text{ henrys} \dots\dots\dots (5) \\ &= 125.6 \text{ ohms} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Z &= (X_L^2 + R^2)^{1/2} \\
&= (5^2 + 125.6^2)^{1/2} \dots\dots\dots (6) \\
&= 125.7\text{ohms}
\end{aligned}$$

渦電流 探觸子는 시험체에 접촉하기도 하므로 사용함에 따라 마모가 되기도 하는 데 이를 위해 보통 내마모성 플라스틱 재료를 사용하거나 특별히 마모가 심각한 경우에는 인공 또는 천연 보석류를 사용하기도 하며 값이 저렴하고 내마모성이 좋은 재료로는 산화 알루미늄이나 세라믹 종류가 흔히 사용된다.

渦電流 探觸子の 온도에 대한 안정성을 위해 보통 코일 지지물은 열전달 특성이 나쁜 재료를 사용해야 하는 데 열전달 특성이 좋은 금속을 코일 지지물로 사용할 경우 검사자가 손으로 탐촉자를 쥐기만하여도 온도 변화가 코일에 감지되어 코일 특성이 바뀔 정도로 민감한 경우도 있다. 따라서 고온용 探觸子를 제작하는 경우에는 특별한 주의가 필요하며 보통 銅線은 150-200℃까지 사용할 수 있고 시험체 온도가 200℃이상이면 알루미늄이나 은으로 만든 導線에 세라믹이나 고온용 실리콘 단열재를 써서 제작한 探觸子를 사용한다.

덧붙여 探觸子 材料를 선정하는 데 시험체와의 화학적인 안정성도 고려해야 한다. 극단적인 경우의 예로 아세톤을 사용하는 냉각 장치를 검사할 때 폴리스티렌으로 제작한 탐촉자는 사용할 수 없으며 사용중에 응력 부식 균열이 발생하는 인코넬(Inconel) 재료의 항공기 엔진 꼬리부분을 검사할 경우 납이나 탄소 케이스를 만든 探觸子만을 사용해야 한다. 검사 코일의 기계적, 전기적인 안정성은 코일을 권선하는 도중에 코일층마다 사이에 에폭시수지를 발라서 절연 효과를 얻는다. 이렇게 함으로서 (1) 외부 습기를 차단하고 (2) 부가적인 절연 효과를 얻으며 (3) 기계적인 견고성도 향상시킨다.

7. 코일과 시험체간의 반응

7.1. 電氣傳導度

전자 이론에 따르면 원자는 양전하를 띠는 핵과 그 주위를 돌고 있는 음전하를 띠는 전자로 구성되어 있다. 傳導體라 함은 이러한 전자들 중 최외각

전자가 궤도를 이탈하여 자유롭게 돌아다닐 수 있는 材料를 의미하며 이러한 전자들을 자유 전자라 부른다. 외부에서 전기적인 힘을 가할 경우 傳導體 내에 자유 전자는 이동하며 材料 내에서 얼마나 쉽게 전자가 이동하는가 하는 정도를 그 材料의 電氣傳導度라 부르며 단위는 mho이다. mho는 電氣抵抗 ohms의 역사으로써 그 철자법도 거꾸로 쓰고 있다.

$$G = \frac{1}{R} \dots\dots\dots (7)$$

渦電流探傷에서는 傳導度를 절대적인 값보다는 상대적인 값을 사용하여서 임의의 단위를 쓰는 경우가 많다. 금속이나 합금의 相對傳導度는 그 범위가 매우 넓으므로 우선 傳導度의 개략적인 개념을 알아둘 필요가 있다. 국제전기협회에서는 1913년에 재료간의 傳導度를 비교하는 데 편리한 방법을 제정하였는데 단면이 1mm²길이가 1m인 고순도 구리가 20℃에서 0.017241 ohms으로 측정되며 이를 임의로 100% 傳導度라고 정하였다. 傳導度의 기호는 σ로 표시하고 단위는 %IACS(International Annealed Copper Standard)로 쓴다.

표1에 여러가지 材料의 電氣傳導度와 抵抗값들을 보였다. 傳導度와 抵抗은 서로 역수의 관계가 있으므로 좋은 전도체는 당연히 抵抗値가 작다. 그러나 傳導度의 단위는 %IACS이고 抵抗의 단위는 대체로 micro ohms-cm이므로 역수 관계를 이용한 직접 환산은 불가능하며 다음과 같은 공식에 의해 환산이 가능하다.

$$\%IACS = \frac{172.41}{\text{전기저항}(\mu\text{ohms-cm})} \dots\dots\dots (8)$$

電氣傳導度에 영향을 끼치는 다른 인자로는 온도, 熱處理, 입자 크기(grain size), 硬度 및 잔류 응력 등이 있다. 시험체의 온도 변화는 시험체의 傳導度를 변화시키며 금속의 경우 일반적으로 온도가 증가할 경우 傳導度는 감소하나, 탄소 또는 탄소화합물은 음의 온도계수를 가지므로 온도 증가에 대해 傳導度가 증가한다. 熱處理 상태도 傳導度에 영

항을 끼치며 熱處理 정도에 따라 傳導도가 증가하기도 하고 감소하기도 한다. 時效 硬化(age hardenable)가 되는 알루미늄 합금에서는 硬度에 따라 傳導도가 변화하며 硬度가 증가함에 따라 傳導도는 감소한다. 이러한 현상을 역이용하여 傳導도에 영향을 끼치는 다양한 금속학적인 특성의 변화를 渦電流을 이용하여 측정할 수 있다. 예를 들어 時效 硬化되는 알루미늄 합금의 경우 傳導도와 硬度의 관계를 알고 있으면 합금의 熱處理 상태를 알아낼 수 있다.

Table 1. 흔히 쓰이는 금속 및 합금의 抵抗 및 傳導度

材 料	抵 抗 ($\mu\Omega\text{-cm}$)	傳 導 度 (%IACS)
은	1.63	105
구리(annealed)	1.72	100
금	2.44	70
알루미늄	2.82	61
알루미늄합금		
6061-T6	4.10	42
7075-T6	5.30	32
2024-T4	5.20	30
마그네슘	4.63	37
70-30황동	6.20	28
인청동	16.00	11
Monel	48.20	3.6
지르코늄	50.00	3.4
지르칼로이-2	72.00	2.4
타이타늄	54.80	3.1
Ti-6Al-4V합금	172.00	1.0
304스테인레스강	70.00	2.5
인코넬 600	98.00	1.7
헤스텔로이 X(Hastalloy)	115.0	1.5
Waspaloy	123.00	1.4

7.2. 磁氣透磁率

材料的 磁氣透磁率이란 외부 磁場에 대응하여 材料내에 원자가 얼마나 쉽게 배열하는가의 정도를 나타내는 물리량으로 상대적인 양보다는 진공의 磁氣透磁율을 1로 기준하여 상대적인 값으로 많이 사

용된다. 상대투자율 μ 는

$$\mu = \frac{\text{core 재료를 쓸 경우 생성되는 자속}}{\text{공기(진공)에서 생성되는 자속}} \dots\dots\dots (9)$$

磁氣透磁率は 주어진 材料에서 항상 상수가 아니며 가해지는 磁場에 따라 변화한다. 예를 들어 外插型 코일 내에 磁性 막대를 삽입하였을 때 코일의 전류를 증가시키기에 따라 磁場이 증가하며 이에 따라 막대내의 磁束은 초기에는 급격히 증가하지만 증가하는 비율 즉 透磁率は 磁氣飽和에 접근함에 따라 완만하게 불연속적으로 증가한다.

渦電流은 磁場이 변화할 경우에도 발생하며 시험체의 磁氣透磁率が 渦電流 信號에 큰 영향을 끼치므로 磁性 材料를 검사하는 방법은 非磁性 材料를 검사하는 것과 다르다. 電氣傳導도에 영향을 주는 인자, 즉 합금 조성, 硬度, 잔류 응력, 및 缺陷 등도 마찬가지로 磁氣透磁률에 영향을 주므로 이런 목적에 渦電流 探傷法을 이용할 수 있다. 일반적으로 磁性 傳導體에서 渦電流 信號은 電氣傳導度の 변화보다는 磁氣透磁率의 변화가 훨씬 큰 영향을 끼친다.

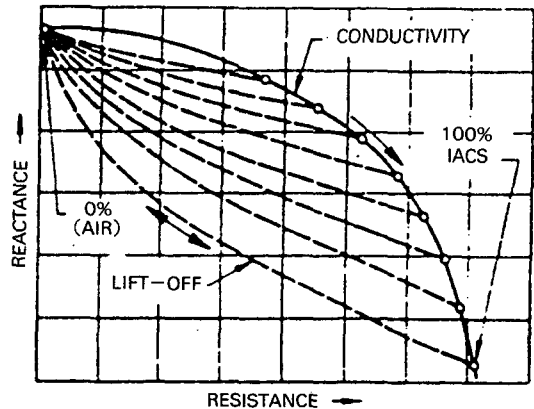


Fig. 12. Lift-off conductivity relationship.

磁性 材料의 경우 磁氣 飽和 상태에서 磁氣透磁率は 상수이므로 渦電流探傷에서 磁氣透磁率 변화에 따른 영향을 배제할 수 있으며 이와 같이 磁性 材料의 缺陷을 탐상하기 위해서는 磁氣 飽和 探觸子를 사용해야 한다.

7.3. 띠오름(lift-off)

渦電流探傷에서 코일과 시험체간의 電磁氣的인

결합은 코일과 시험체 간의 거리에 따라 좌우되며 이때 코일과 시험체간의 간격을 떠오름 거리라고 하며 이러한 현상을 떠오름 효과라고 한다. 공기, 傳導體 材料와 떠오름의 관계를 Fig. 12에 보였다. 앞서 논의한 바와 같이 電磁氣場은 코일 근처에서 최대이며 코일에서 거리가 멀어짐에 따라 소멸되는데 이러한 현상은 코일과 시험체 표면과의 간격이 조금만 변화해도 떠오름 효과가 발생하는 원인이 된다.

예를 들어 접촉에서 0.001인치 간격이 생길 때의 떠오름 효과는 간격이 0.010인치에서 0.011인치로 변화할 때에 비해 몇 배이상 큰 신호를 나타낸다.

떠오름 현상은 일반적으로 시험체와 코일간의 거리가 약간만 변화해도 큰 신호로 나타나서 원하는 신호(예 : 결합 신호)를 차폐시킴으로서 渦電流探傷 시에 원하지 않은 현상 또는 잡음 신호로 받아들여진다. 따라서 구조가 복잡한 시험체의 경우 일정한 코일-시험체 거리를 유지하면서 走査하기가 어려우면 결합을 탐지하기가 곤란할 수도 있다. 어떤 장비에서는 위상각 선별 능력이 있어서 電氣傳導度 또는 다른 변수들로부터 떠오름 현상을 분리하는 기능이 있는 것도 있다. 한편 페인트나 프라스틱과 같은 非傳導姓 코팅의 두께를 특정코자 할 경우 코일과 電氣傳導體 간의 간격을 떠오름 신호를 이용하여 측정하는 것이 가능하다. 또한 떠오름 현상은 profilometry 검사에 유용하며 表面 探觸子 또는 probe코일을 사용할 경우 다양한 용도가 있다.

7.4. 충전률(fill-factor)

충진률이란 外插型 또는 內插型 코일을 사용할 때 시험체와 코일이 얼마나 電磁氣的으로 잘 결합하고 있는가에 대한 용어이며 probe 코일에서 떠오름 현상과 마찬가지로 코일에서 가장 가까울수록 감도가 높다. 충전률은 시험체의 단면적(직경의 제곱)과 코일의 단면적(직경의 제곱)의 비율로 표현되며

$$\text{충진율} = \eta = \frac{\pi d^2}{4} / \frac{\pi D^2}{4} = \frac{d^2}{D^2} \dots\dots\dots (10)$$

충진률은 항상 1보다 작아야 하며 가장 이상적인 충전률은 1에 가까울수록 유리한다. 예컨대 충전률

0.75보다는 0.99가 훨씬 높은 감도로 검사를 수행할 수 있으나 실제로 探觸子가 管이나 棒을 원활하게 주사하기 위해서는 어느 정도의 간격이 필요하므로 충전율이 1 일수는 없으며 통상 경험적으로 0.85-0.95정도로 설계하는 경우가 많다.

7.5. 모서리 효과(edge effect)

검사 코일에 의해 생성된 電磁氣場은 모든 방향으로 퍼져나가는 데 코일이 시험체의 경계면의 접근함에 따라 코일이 그 경계면을 감지하게 된다. 코일에 의한 電磁場이 미치는 범위는 코일 상수, 검사 주파수, 시험체 특성에 따라 변화하는 데 코일이 모서리에 도달함에 따라 渦電流의 흐름이 찌그러지기 때문에 신호가 찌그러지는 현상을 모서리 효과라고 한다. 모서리 효과에 의한 신호는 찌그러지는 현상을 모서리 효과라고 한다. 모서리 효과에 의한 신호는 대단히 크기 때문에 모서리 근처에서는 缺陷을 검사하기 어렵다. 이러한 효과는 探觸子의 크기를 작게함으로써 어느정도 해소할 수는 있으나 근원적인 해결책은 없으며 대체로 모서리에서 2-3mm정도 범위는 검사하기 힘들다. 모서리 효과는 板 형태의 시험체를 probe코일로 검사할 때 나타나는 현상이다.

7.6. 종말 효과(end effect)

종말 효과는 모서리 효과와 같은 원리이며 단지 管이나 棒型 시험체에 대한 용어이다. 검사 코일이 시험체에 접근함에 따라 큰 신호가 나타나게 되는데 코일 차폐나 外插型 또는 內插型 코일에서 코일 길이를 단축시킴으로서 종말 효과를 감소시킬 수 있다.

7.7. 表皮 效果(skin effect)

渦電流探傷法을 적용할 때 시험체에서 코일에서 가장 가까운 부분의 변수에 대해 감도가 높은 현상이 발생하는데 이는 表皮 效果가 그 원인이다. 表皮 效果는 검사주파수, 시험체의 電氣傳導度 및 磁氣透磁率 등의 渦電流에 대한 상호 작용의 결과로 나타난다. 즉 시험체 내에서의 渦電流 密度는 코일에서 가장 가까운 곳이 가장 높으며, 검사주파수, 電氣傳導度, 磁氣透磁率이 증가함에 따라 증가한다. Fig. 4

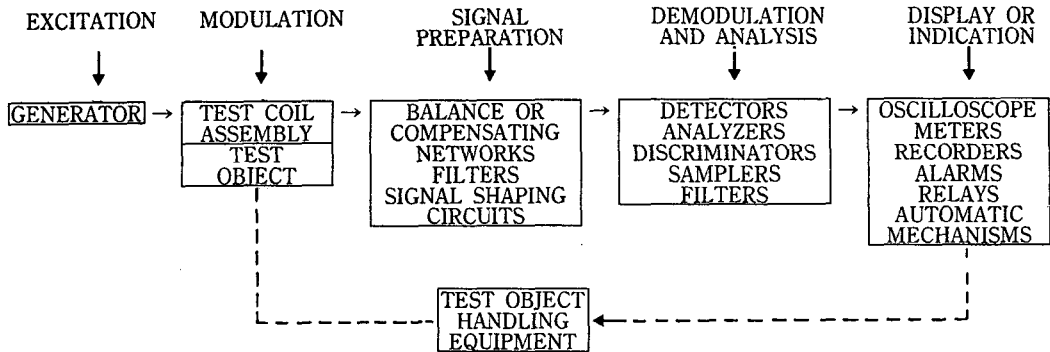


Fig. 13. Internal functions of the electromagnetic nondestructive test.

에渦電流 密度 分布 그림을 참조하기 바란다.

7.8. 缺 陷

정상적인渦電流의 흐름에 변화를 끼치는 어떠한缺陷이라도渦電流 신호로 감지되며龜裂, pits, 진동에 의한 손상, 부식 등의缺陷들이 시험체의有效電氣傳導도를 변화시키는 원인이 된다. 表面缺陷들은 광범위한 주파수 영역의 어떤 주파수를 사용하더라도 탐지가 대체로 가능하므로 表面下 缺陷보다는 쉽게 탐지할 수 있다. 表面下 缺陷을 탐지하기 위해서는 검사주파수 선정에 주의하여야 하는데 그러하더라도 스테인레스강에서 약 0.5인치 깊이의缺陷을 탐지하는 것은 매우 어렵다. 이것은 그러한 깊이까지 磁束이 침투하기 위해서 매우 낮은 주파수가 요구되는데 이때渦電流 생성에 한계가 있기 때문이다.

7.9. 신호대 잡음비

신호대 잡음비는 원하는 신호와 원치않는 신호의 비율이며 일반적으로 표면 거칠기, 기하학적인 형태, 균질성 등에 변화가 일어날 때 잡음의 원인이 된다. 그밖에 전기적인 잡음으로 용접기, 전기 모터나 발전기 등의 외부 잡음이 있으며 코일이나 시험체가 기계적으로 진동할 경우 기계적인 잡음이 발생한다. 다시 말해 우리가 관심있는 신호 이외에 어떠한 방해 신호들도 잡음으로 간주한다. 잡음을 감소시키고 신호대 잡음비를 개선시키기 위해서는 더러운 시험체는 우선 깨끗이 세척해야 하며 전기적인 간섭은 체폐나 전기 시스템을 별도로 설치하며 위상각 선별 기능이나 필터 등도 유효할 경우가 있

다. 상식적으로 非破壞 檢查에서 신호대 잡음비는 최소한 3대 1이상이라는 것을 알아둘 필요가 있다.

7.10. 검사 주파수

渦電流 探傷에서 사용되는 주파수 범위는 보통 200Hz에서 6MHz 이다. 非磁性 材料를 검사할 경우 보통 수kHz에서 시작하고 磁性 材料의 경우에는 1 kHz에서 시작하기도 하나 실제 주파수는 시험체의 두께와 磁氣透磁率 및 電氣傳導도에 따라 결정된다 (表皮 效果에 대한 공식 $\delta = \frac{1}{\sqrt{\omega\mu\sigma}}$ 을 이용).

적정 주파수를 선정하기 위해서는 몇가지 고려해야 할 점이 있다. 보통 表面下 缺陷까지도 충분히 탐지할 수 있는 침투 깊이가 요구되는데 주파수가 낮을수록 침투 깊이가 깊어지는 반면에 缺陷에 대한 감도가 저하하는 약점이 있으므로 요구되는 침투 깊이를 만족하면서 가능한 한 높은 주파수를 선정하는 것이 유리하다. 表面 缺陷만을 탐지하기 원한다면 주파수는 수 MHz까지 올라갈 수도 있으며 상당히 깊은 表面下 缺陷을 원한다면 감도를 희생하더라도 상당히 낮은 주파수를 사용해야 하는데 이런 경우에는 작은 缺陷이 탐지되지 않을 수도 있다. 보통 强磁性 材料를 검사할 경우 磁氣透磁率에 의해 침투 깊이가 알아지므로 낮은 주파수를 사용하는 것이 일반적이다.

8. 渦電流探傷 裝備

대부분의渦電流探傷 裝備는 최종 출력과 화면 모드에 따라 구별하며 일반적으로 모든 장비에 공통적인 5가지 장비 기능이 있는데 이들은 Fig. 13

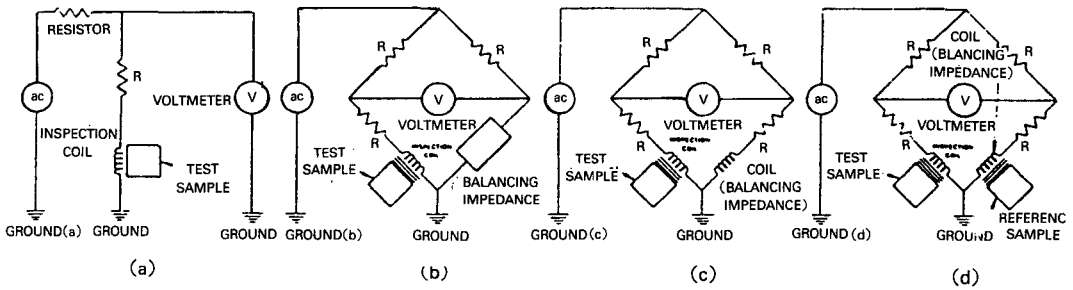


Fig. 14. Four types of simple eddy current instruments.

에 보인 바와 같이 발전, 변조, 신호 준비, 신호 해석 및 신호의 화면 표시로 분류될 수 있으며 그밖에 6번째 기능을 추가한다면 시험체 또는 코일 이동 장치가 있다.

발전기는 발전된 신호를 코일에 가하는 장치이며 코일의 電磁氣場 내에서 신호의 변조가 발생한다. 다음 신호 준비 단계에서는 회로의 발란스를 맞추고 신호의 복조 및 분석에 들어가며 이때 교류 신호는 정상상태에서의 균형 즉 "null" 상태를 유지토록 한다. 신호대 잡음비를 높이고 다음 단계에서 필요한 전압을 얻기 위해 증폭기 및 필터가 추가된다. 복조 및 해석 단계는 탐지기, 분석기, 분별기, 필터 및 샘플링 회로로 구성되며 탐지기는 단순한 증폭기 형식 또는 최신의 위상/진폭 증폭기 또는 검파기 형식일 수도 있다.

渦電流探傷 裝置는 Fig. 14에 보인 바와 같이 대체로 4종류로 나뉘어 진다. Fig. 14(a)는 가장 단순한 회로 형태로 검사 코일에 발생하는 전압을 AC 볼트 메타로 측정하는 회로인데 정밀도가 그다지 요구되지 않고 매우 큰 떠오름 효과의 변화를 측정코자 할 때 사용된다. Fig. 14(b)에는 임피던스 브리지 회로를 보였는데 AC 발전 회로, 전압 강하용 저항 및 발란스용 코일로 구성된 임피던스 브리지 회로이다. Fig. 14(c)는 Fig. 14(b)와 유사한 회로이나 검사 코일과 유사한 발란스 코일을 사용하여 브리지 회로를 구성하는 점이 다르다. Fig. 14(d)는 발란스 코일을 표준 시편에 적용시킨 회로로 外部 標準 差動코일 검사에 흔히 사용되는 회로이다.

渦電流探傷 裝備를 구성하는 부분 가운데 가장 중요한 부분이 신호를 어떻게 표현하고 저장 및 재현하는가 하는 방식이다. 신호 표시 장치는 장비와 그 장비의 의도하는 목적을 연결하는 부분으로 장

비의 일부일 수도 있고 별도로 渦電流探傷 장비에 연결하여 사용하는 경우도 있는데 신호 표면 장치는 빠르고 정확해야 하며 검사에서 요구되는 범위를 만족시켜야 한다. 신호 표시 장치의 종류로는

- 1) 정해진 값을 넘어설 경우에 작동하는 경고등 또는 경보음
- 2) 정해진 값을 넘어설 경우 자동으로 제품을 표시하거나 밀어 내는 장치
- 3) 아날로그 메타 : 정해진 범위의 결과치를 연속적으로 알수 있으며 경보음이나 경고등의 범위 조정을 위해 사용되기도 한다.
- 4) 디지털 메타 : 아날로그 메타보다 정밀도는 높은 편이나 빠르게 변화하는 숫자들을 해석하기가 어려운 경우도 있다.
- 5) 임피던스 평면에서 渦電流 信號를 기록할 수도 있는 x-y plotter 또는 오실로스코프
- 6) 임피던스 값을 각각 x 성분과 y 성분으로 나누어 기록하며 빠른 속도가 가능한 strip chart recorder
- 7) 정확하고 빠르며 완벽하게 보존, 재생이 가능한 磁性 테이프(digital magnetic tape)
- 8) 磁性 테이프와 유사하나 보다 대용량 정보를 저장할 수 있는 光磁氣 디스크(magneto-optical disc)

최근에는 워크스테이션급의 중형 컴퓨터와 대량 저장수단인 光磁氣 디스크를 사용하여 실 시간에 신호수집, 신호처리 및 평가, 저장 등이 동시에 가능한 장비도 사용되고 있다.

마지막 3편에서는 渦電流探傷法의 실제응용사례에 대해 소개할 예정이다.
문의전화 : (042)868-8091