

特 輯 : 용접부의 비파괴시험

非破壞檢査概論

정 용 무*

Introduction to Nondestructive Testing

Yong-Moo Cheong*

1. 非破壞檢査의 意義

최근 각종 대형 안전사고가 발생하고 있음에 비추어 구조물의 안전성에 대한 관심이 증대되고 있으며 이와 같은 사고를 미연에 방지하기 위해서는 정밀한 안전진단이 필요하며 이의 일환으로 非破壞檢査를 실시하여야 한다. 특히 구조물의 취약한 부분의 하나인 용접부에 대한 非破壞檢査는 그 중요성에 대해서 언급할 필요가 없을 정도이다. 非破壞檢査란 공업 재료나 제품, 구조물 등에 대하여 대상체에 손상을 주지 않고 재료가 갖는 물리적 성질을 이용하여 검사품의 성질, 상태, 내부 구조 등을 알아내기 위한 검사 방법이다. 즉 공업 분야에서 사용되는 재료가 필요한 強度를 갖고 있는지 또는 이 재료로 만들어진 제품과 구조물이 아무런 흠이 없이 만들어졌는지의 여부를 파괴에 의해서 증명하는 것이 아니라 재료가 갖는 물리적 성질을 이용하여 파괴하지 않고 성질을 추정하여 채택여부를 판정하는 기술이다. 경우에 따라서는 非破壞試驗과 非破壞檢査를 구별해서 사용하기도 하는데 非破壞試驗은 재료 또는 제품 및 구조물이 그 성능을 저하시킬만한 缺陷이 있는지 여부를 조사하는 방법을 뜻하고 非破壞檢査는 非破壞試驗 결과에 따라 材料 또는 제품 및 구조물의 안전성을 판정하고 채택여부를 결정하는

것을 포함하기도 하나 일반적으로는 특별히 구별하지 않고 혼동하여 사용된다.

1.1 非破壞檢査의 역사

인간이 자연물을 이용해서 어떤 목적을 갖는 물건을 만들려고 할 때 먼저 눈으로 그 재료가 목적에 적합한지 여부를 검사한다. 이것도 일종의 非破壞檢査라고 볼 수 있으며 따라서 非破壞檢査는 원시시대부터 시작되었다고 말할 수 있다. 또 수박이 잘 익었는지 여부를 판정하기 위하여 두들겨 보고 그 소리에 따라 판정한다든지, 기차 바퀴를 망치로 두들기는 것과 같이 금속으로 만들어진 물건을 망치로 두들겨서 그 소리의 상태로부터 龜裂 등의 흠이 있는지의 여부를 조사하는 것도 非破壞檢査의 일종이다. 그러나 공업 기술에서 본격적으로 非破壞檢査가 고려된 것은 50 - 60년 전부터이며 실제로 공업에 도입된 것은 제 2 차 세계대전 이후이다. 이것은 공업계에서 점차 더 좋은 제품을 싸게 만들 수 있는 방법과 관련하여 品質管理 개념이 도입되면서부터이다. 즉 불필요한 工程을 줄이고 재료의 낭비를 없애야 하며 또 질나쁜 재료를 가공해서 나중에 缺陷을 발견하는 등의 낭비를 없애기 위해서 非破壞檢査가 필요하게 되었다.

특히 안전성이 중요시되는 기차, 항공기, 선박과

* 비회원, 한국원자력연구소 열교환기평가실

같은 대형수송기관, 原子力産業, 壓力容器 또는 첨단제품으로서 가격보다는 品質이 중요한 防衛産業, 半導體産業 등과 같은 분야에서는 제품의 성능에 악영향을 미치는 缺陷의 존재 여부를 조사할 필요성을 느끼게 되었고 또 공업의 발달에 따라 공정 합리화를 위한 방법으로 非破壞檢査 技術의 급속한 발달이 요구되어 오늘날에 이른 것이다. 이와같이 공업 기술의 발달에 따라 非破壞檢査 技術도 병행해서 발전되고 있으며 최근에는 품질관리를 위해서 生産工程에서 적용하는 경우가 많아지고 있다.

1.2 非破壞檢査의 原理

의사가 사람의 몸을 진단할 때 호흡과 맥의 상태 또는 혈압 및 심전도 등 신체 내부에서 일어나는 현상의 이상 유무를 먼저 진단한다. 이와같이 신체 내부에서 일어나는 현상만으로 진단 결과를 알 수 없을 경우에는 먼저 외부에서 X-선이나 超音波를 투사하여 그 반응을 본다. 그래도 정확히 알 수 없는 경우에는 약품을 주입하거나 혈액 혹은 조직의 일부를 잘라서 검사하게 된다. 그러나 공업분야에서 非破壞檢査의 대상은 생명이 없는 것이기 때문에, 非破壞檢査 방법으로 缺陷을 조사하기 위해서는 대상 물체의 형상과 성질에 영향을 주지 않는 어떤 에너지를 외부에서 투사하여 그 반응을 보는 방법 밖에 없다. 투사된 에너지에 대한 반응이란 物理的인 性質의 變化로 나타나는 것이므로 非破壞檢査의 原理는 대체로 材料의 物理的인 性質을 이용하고 있다. 그러므로 非破壞檢査를 이해하거나 새로운 기술을 개발하기 위해서는 材料의 특성을 이해하지 않으면 안되며 物理的인 性質을 이용해서 材料에서 정상 상태의 반응과 다른 이상 반응을 얻었을지라도 그와 같은 반응이 어떠한 원인에 의해서 발생하는 반응인가에 대해 사전 지식을 갖고 있지 않으면 안된다. 따라서 非破壞檢査에 앞서서 材料 내에 존재하는 缺陷과 그 반응과의 상관 관계를 절단 등과 같은 破壞의 방법으로 미리 알아두어야 한다.

공업제품은 일반적으로 설계 과정에서 그 제품의 성능을 결정하게 되는 데 만약 非破壞檢査에 의해서 缺陷이 발견되었다라도 그 缺陷이 제품의 성능에 영향을 미치지 않고 성능이 제대로 발휘된다면 그 缺陷은 제품의 결점으로 간주되지 않는다. 즉 缺陷은 절대적인 의미를 갖고 있는 것이 아니고 사용 목적에

따라 달라지는 것으로서 설계 성능을 깨뜨리는 불균일성만을 缺陷이라고 본다. 이러한 제품의 성능과 缺陷과의 관계를 명확히 하기 위하여 검출된 缺陷이 구조물 및 재료의 성질에 미치는 영향을 미리 알아둘 필요가 있다. 재료나 구조물의 성능에 미치는 중요한 영향은 주로 強度 또는 부식 등에 의한 영향 등이 있으므로 미리 破壞 또는 다른 적절한 수단에 의해서 이러한 영향 정도를 분명히 해 두어야 한다. 이상과 같이 材料의 物理的인 性質을 이용해서 검출되는 非破壞檢査 결과와 실제 缺陷과의 관계, 그리고 그 缺陷과 材料의 強度 또는 부식성 등의 관계를 기초로 해서 그 材料 또는 구조물이 설계한대로의 성능을 발휘할 수 있는지의 여부를 판정하는 것이 非破壞檢査이다. 그러므로 非破壞檢査 결과 이상신호가 檢出되었을지라도 이러한 신호가 설계한 성능에 지장을 주지않는다면 공업적으로 또는 非破壞檢査 결과로서도 합격 제품이라고 볼 수 있다.

1.3 非破壞檢査의 목적과 역할

1.3.1 品質管理

제품을 제조할 때 이상적인 방법으로 제작되었다면 당연히 缺陷이 없을 것이다. 따라서 非破壞檢査에 의해서 제품의 성능에 영향을 주는 缺陷을 만들 가능성이 있는가 아닌가의 여부를 조사하여 만약 缺陷이 발생할 수 있는 방법이라면 제조 기술을 개량하여 缺陷이 없는 방법을 만드는 것을 목적으로 제조 기술을 향상시켜야 하는 것이 品質管理의 목적이다. 예컨대 非破壞檢査 결과를 이용하여 최적의 용접 조건을 알아내거나 최적의 주조 방안을 설계할 수 있다. 최근에 와서는 이 방법을 기계적으로 수행하여 자동으로 非破壞檢査를 실시하고 이 지시에 의해서 제조공정을 자동으로 조절할 수 있도록 생산공정에 도입하는 데 까지 발전하였다.

1.3.2 生産원가의 절감

불량품을 만드는 것은 제품의 원가를 인상하는 것이다. 따라서 品質管理에 의하여 불량품을 만들지 않는 제조법을 채택하거나 불량자재를 가공 전에 발견하여 쓸 데 없는 가공 과정을 없애므로서 생산 원가를 절감할 수 있다. 또 缺陷이 있는 재료라도 사용하기에 따라서는 적합할 수도 있다. 즉 사전에

缺陷이 존재하는 위치를 알 수 있으면 그 부분을 피하거나 하중이 많이 작용하지 않는 위치에 缺陷 부위가 위치하도록 재료를 사용함으로써 재료의 손실을 줄이게 된다. 缺陷의 존재를 모르고 재료를 가공해서 마지막 과정에서 缺陷을 발견하는 것과 같은 경우를 사전에 방지함으로써 제조원가를 절감할 수 있다. 그러나 非破壞檢査를 실시함으로써 검사비용이 생산 원가에 추가될 수도 있으므로 아무 제품이라도 非破壞檢査를 무조건 실시하는 것보다는 제품이 非破壞檢査를 할 당위성이 있는지 여부를 판단하여 실시하는 것이 중요하다. 이상과 같이 非破壞檢査는 공업에 있어서 제조공정을 합리화하는 데 매우 중요한 의미를 가지고 있다.

1.3.3 품질의 평가

기계나 시설 또는 재료를 구입할 경우 사용하는 데 지장을 주는 缺陷이 존재하는지의 여부를 그대로의 상태에서 조사하기 위해서 非破壞檢査를 실시한다. 이것을 위해서는 일정한 기준을 정해서 그 기준에 적합하지 못하면 補修해서 기준에 합격하도록 한다. 그 방법에 있어서는 원자로 및 압력용기와 같이 파손으로 인해 대형 사고가 발생하는 경우에는 전체를 검사한다. 그렇지 않고 그다지 중요하지 않은 경우에는 발취하여 일부분을 검사하고 그 결과로서 합격여부를 결정하는 방법도 있다.

1.3.4 점검

품질평가에 의해서 합격되어 사용하고 있는 경우라도 압력에 의한 하중이나 열사이클 (thermal cycle) 과 부식성 분위기 등에서 사용하게 되는 경우가 있다. 이로 인하여 제작 당시에는 아무런 缺陷도 존재하지 않았던 제품에서 운전 조건으로 인하여 龜裂이 발생하고 진전하여 누설이 발생하고 최종적으로 파손되는 경우가 있다. 이러한 사고가 발생하지 않도록 사용중에 발생하는 龜裂이나 부식 상태를 검출하기 위하여 非破壞檢査를 실시한다. 이것을 가동중검사라고 하며 이에선 일정 기간동안 운전한 후에 운전을 정지하고 검사하는 정기점검과 운전하면서 검사하는 두 가지 방법이 있다.

1.4 非破壞檢査者の 역할

非破壞檢査는 주로 눈으로 검출이 불가능한 缺陷을 탐지하는 방법이므로 만약에 공정하지 못하게 非破壞檢査가 실시되는 경우에는 단지 검사에 소요되는 비용만을 소모할 뿐이다. 또한 적절한 방법을 사용치 않음으로 인해 중대한 缺陷을 탐지하지 못하고 그대로 사용함으로써 사고를 일으키며 인명에 피해를 미치며 또 경제적으로 큰 손실을 초래하는 등 그 영향은 매우 크다.

非破壞檢査 방법은 육안으로는 볼 수 없는 缺陷을 탐지하는 방법이지만 검사 결과는 필름 (Film), 브라운관 (Brown Tube), 메-타(Meter) 또는 눈으로 판정한다. 필름에 기록된 缺陷은 객관적인 데이터로 남길 수 있다. 그러나 가장 객관적이라고 볼 수 있는 放射線透過試驗 사진까지도 고의로 缺陷이 나타나지 않게 할 수도 있고, 超音波探傷과 같이 검사자가 探觸子를 주사하여 CRT 상에 나타나는 에코를 보아 판정하는 경우는 缺陷 에코가 나타나지 않게 조작하는 것이 쉽다. 그밖에 磁粉探傷, 液體浸透探傷 등에서도 이러한 현상은 비슷하여서 검사자의 의도에 따라 검사 결과가 다를 수 있다. 따라서 非破壞檢査를 실시하는 檢査者는 무엇보다도 먼저 인격을 갖추고 양심에 따라 검사 결과를 보고해야 한다. 이상과 같이 檢査者의 성실성 부족으로 인하여 대형 사고가 발생할 수도 있으므로 非破壞檢査者는 검사 기술 능력도 중요하지만 인격의 수련도 필요하다. 이러한 미비점을 보완하기 위해서는 검사할 재료나 구조물에 대해 관계가 없는 제 3 자에 의해 검사를 실시하거나 객관적으로 신뢰성을 보증할 수 있는 방법, 예컨대 自動探傷을 실시하는 것이 바람직할 경우도 있다.

2. 非破壞檢査의 방법

현재 공업계에서 널리 사용되고 있는 非破壞檢査 방법은 다음과 같다.

- * 肉眼檢査 (Visual Testing, VT)
 - 직접법 (Direct VT, 肉眼 또는 확대경, 망원경 사용)
 - 간접법 (Indirect VT, 거울, TV 카메라, 보로스 코프 (Boroscope), 화이버 스코프 (Fiberscope))
- * 放射線透過試驗 (Radiographic Testing, RT)

동위원소 (Co-60, Ir-192, Cs-137 등) 을 사용하여
감마선 발생

X-선 발생장치, Van de Graff Generator, Betatron, 선형가속기

(Linear Accelerator, LINEAC) 등도 사용가능

- * 超音波探傷試驗 (Ultrasonic Testing, UT)
- * 磁粉探傷試驗 (Magnetic Particle Testing, MT)
磁粉 - 螢光磁粉, 습식법, 건식법
- * 液體浸透探傷試驗 (Liquid Penetrant Testing, PT)
- * 渦電流探傷試驗 (Eddy Current Testing, ECT)
관 또는 봉 형태 재료에 渦電流를 인가하여 電磁氣 誘導 效果를 이용
- * 스트레인 게이지 (Strain Gauge)
- * 音響放出法 (Acoustic Emission Testing, AET)
- * 中性子透過試驗 (Neutron Radiographic Testing, NRT)

2.1 放射線透過試驗 (Radiographic Testing, RT)

放射線은 높은 에너지를 가진 전자기파의 일종으로써 에너지가 높을수록 물질을 투과하는 능력이 뛰어나다. 放射線의 이러한 성질을 이용하여 검사체에 放射線을 조사하면 투과 후에 放射線의 強度도 달라지며 이러한 放射線 強度의 變化를 관찰함으로써 缺陷의 상태를 탐지할 수 있다. 일반적으로 放射線이 재료를 통과한 線量에 따라 필름의 감광 정도가 다른 것을 이용하여 필름을 인화하여 畫像을 판독함으로써 缺陷 有無 및 그 形相을 탐지하는 非破壞檢査 방법이다. 이외에도 두께의 변화, 혼합물의 분포 상태 혹은 조립품의 내부구조 등도 알아낼 수 있다. 放射線의 線源으로는 X-선을 이용하는 경우가 많고 다음이 감마선이며 베타선, 중성자선, 알파선 등도 가능하다. 또한 필름을 이용하는 방법 이외에 계기를 사용하여 측정하는 방법도 있다.

2.1.1 직접촬영법

放射線의 사진작용을 이용하여 사진 필름에 透過像을 찍어 인화된 필름을 눈으로 관찰하는 방법이다. 非破壞檢査 방법으로서 가장 먼저 사용되었고 지금까지도 널리 사용되고 있다. 선박, 교량, 압력용기 및 파이프라인 (Pipe Line) 등의 용접부 검사에 적합

하기 때문에 급속히 보급되었으며 X-선 필름이나 증감지도 처음에는 한 종류였으나 현재에는 필름이 6 종류, 증감지 3 종류가 시판되고 있어 목적에 따라 사용할 수 있다.

125 KVp - 400 KVp 급의 휴대식 X-선 발생장치는 소형 경량화되어 여러가지 제품이 시판되고 있으며 고에너지 線源으로는 베타트론 (Betatron) 선형가속기 (LINEAC) 등이 개발되었다. 일반 非破壞檢査 현장에서는 동위원소에서 발생하는 감마선을 이용하는 경우가 대부분인데 대체로 철관 두께를 기준으로 할 때 50mm 이하인 제품에 대해서는 Ir-192 동위원소를 50mm 이상인 제품에 대해서는 Co-60 동위원소를 사용한다. 대부분의 파이프나 압력용기는 두께가 50mm를 넘는 경우가 드물기 때문에 대부분 Ir-192가 사용된다.

한편 파이프라인과 같이 검사체가 방대한 경우에는 검사장비를 현장에 설치하여 非破壞檢査를 수행해야 하는 데 이를 위한 각종 안전 장치 및 사진 현상 인화 현상 설비, 사진 판독 설비, 사진 보관 설비 등이 필요하다.

방사성 동위원소를 사용하여 非破壞檢査 작업을 하기 위해서는 放射線 취급에 관한 각종 안전 수칙을 준수해야 한다. 자격을 가진 放射線 취급 감독자가 放射線 작업을 감독해야 하며 검사자들도 放射線에 대한 지식을 갖추고 각종 放射線 차폐설비 및 안전 장치를 갖추어야 한다. 또한 非破壞檢査者는 放射線 작업 시에 자신의 放射線 피폭량을 측정할 수 있는 放射線 계측장치 (필름벤티, TLD, 포켓도시미터 등) 를 몸에 부착하고 작업을 해야하며 정기적으로 피폭량을 보고하고 검사자의 건강 상태도 정기적으로 검사해야 한다.

2.1.2 투시법

이것은 형광관에 透視像을 나타내어 눈으로 관찰하는 방법이다. 필름 및 사진약품을 사용하지 않기 때문에 경비도 적고 또 단시간 내에 결과를 판독할 수 있다는 장점이 있으나 형광관의 영상은 어둡고 해상도가 떨어지며 장시간 시용할 경우 눈에 피로감을 준다는 것이 단점이다. 최근에는 형광상의 밝기를 수백, 수천배 증감할 수 있는 형광증배관이 개발되어 능률 향상과 비용 절감을 위해서 많이 실용화되고 있다. 특히 형광상을 텔레비전 카메라의 화상으로 나타낼 수 있고 원격 조작을 할 수 있으므로 放射線 피폭 위험이 적어지므로 많이 사용되고 있다.

2.1.3 전자사진법

이것은 필름을 이용하지 않고 사진촬영과 같은 방법으로 전자사진판을 사용한다. 셀레늄(Selenium) 등을 사용한 전자사진판을 대전시켜 이것이 放射線을 조사하면 그 強度에 따라 대전량이 변화한다. 이 위에 대전된 수지분말을 뿌리면 대전량에 따라서 모양을 만들며 이것을 점착제를 바른 종이에 전사한다. 전자사진판은 반복하여 사용할 수 있고 또 감도도 보통 X-선 필름과 큰 차이가 없다. 그러나 아직은 실용화되고 있지 않다.

2.1.4 계기법

이것은 放射線 계측기를 이용하여 放射線의 強度를 측정하고, 이 측정치의 차이에 의해 缺陷 有無 혹은 두께의 변화를 알아내는 방법이다. 현재 두께 측정에 사용되고 있지만 内部 缺陷 探指에는 아직 사용되고 있지 않다.

기타 일반 非破壞檢査에는 사용되지 않지만 실험실에서 放射線 산란법, 재료의 결정구조를 파악하기 위한 X-선 회절법, 특성 X-선 이 물질의 원소에 따라 다른 현상을 이용하여 각 스펙트럼의 파장과 신호 크기를 측정함으로써 합금 원소 분석 또는 합금량을 측정하는 방법 등도 있다.

2.2 超音波探傷試驗

2.2.1 音響檢査와 超音波探傷

인간이 귀로 들을 수 있는 可聽音波의 주파수 범위는 약 20 Hz에서 20,000 Hz라고 알려져 있다. 주파수 20,000 Hz를 넘는 音波는 인간이 들을 수 없으며 이러한 音波를 보통 超音波라고 칭한다. 音波는 기계적인 진동으로서 인간은 예로부터 물통을 두드려서 물통 속에 물의 양을 알아내거나 기차 바퀴를 쇠망치로 두드려 보아 차륜의 이상유무를 알아내는 音響檢査法은 오늘날까지도 널리 사용되고 있는 오래된 非破壞檢査 방법 중에 하나이다. 그러나 음향검사는 인간의 청각이 판단의 주체가 되므로 숙련이 필요하며 신뢰도가 충분치 못하다.

音波의 일종인 超音波를 이용한 探傷 방법은 그 역사가 오래지 못하여 1929년 소련의 Sokolov가 수

정진동자를 사용하여 금속에 超音波를 전파시켜서 건전한 부위와 缺陷이 있는 부위에서의 超音波 強度가 다르다는 실험 결과를 발표하였으며 1942년에 미국의 Firestone이 해양의 수심 측정과 잠수함의 위치 측정을 위해 사용하던 음향깊이측정기(Sonic Depth Finder)의 원리를 이용하여 펄스에코(Pulse Echo) 探傷裝備를 개발함으로써 현재 사용하는 형태의 장비가 개발된 것이다.

2.2.2 超音波의 성질과 종류

공기의 밀도가 높고 낮은 부분이 연속적으로 생기는 상태는 마치 수면에 파동이 산봉우리와 산봉우리 또는 골짜기와 골짜기 사이가 일정한 것과 같은 것으로 생각할 수 있다. 이와 같이 공기 속에 音波는 그 진행방향과 공기입자의 진동방향이 일치하고 있으므로 從波(L 파)라고 부른다. 이와 같은 從波는 매질이 기체, 액체, 고체를 막론하고 전달되므로 從波 즉 소밀파는 물속에서도 전달된다. 그러나 고체 속에서는 從波 이외에도 橫波도 전달된다. 고체는 전단력에 대해서 저항을 보이고 있어서 매질입자의 진동방향과 파의 진행방향이 수직으로 된 橫波(S 파)를 전달할 수 있다. 그밖에 표면을 전달하는 표면파와 박판을 전달하는 판파가 있어서 모두 探傷에 사용되고 있다.

공기중에서의 음속은 340m/s 이므로 매초 340m의 속도를 가지고 있으며 수중에서의 음속은 1500m/s 이고 철강 속에서의 從波의 음속은 5900m/s 이며 橫波의 음속은 3230m/s 이다. 열차선로에서 열차의 진행을 관찰하기 위해서 귀를 대어 보면 열차의 소리는 공기 속을 전달하여 오기 전에 레일에서 덜컹 덜컹하는 소리가 들려온다. 이는 레일로 전달해 오는 音波가 공기 속을 전달해서 오는 音波의 약 20배의 속도로 도달하기 때문이다. 따라서 음속은 소리를 전달하는 매질의 탄성계수와 밀도 및 音波의 종류에 따라 결정되는 것이며 주파수나 진동자와 관계가 없다.

2.2.3 접촉매질

접촉매질에 대해서 試驗體에 超音波를 전달시키기 위해서는 探觸子를 시험체에 직접 접촉하는 방법을 크게 나누어 보면, 직접접촉법과 수침법의 두가지가 있다. 수침법의 경우에는 探觸子와 試驗體 사이에 물을 개재시켜서 超音波를 물의 층 또는 막을 통해서

전달한다. 직접접촉법에서는 探觸子를 시험체에 직접 접촉시키는 데 探觸子와 試驗體 사이에 미세한 틈새가 존재하여 공기가 있으므로 超音波가 전달되지 않는다. 따라서 探觸子와 試驗體 사이에 공간을 없애기 위해서 探傷面에 액체 즉 접촉매질을 바르고 검사를 실시한다.

접촉매질로서는 매끈한 표면에는 기계 기름과 같은 광물유 또는 물을 이용하면 되고 표면이 거친 경우에는 글리세린 또는 물유리 (규산의 알칼리염으로 무색 투명하고 점착력이 강해 공기중에서 건조하면 유리상으로 된다.) 를 사용한다. 이는 음향임피던스가 커서 효과적이며 경사면과 수직면 등을 探傷할 경우에는 적당한 점성이 필요하므로 합성플 또는 구리스 등을 사용한다.

2.2.4 超音波探傷 방법

超音波探傷은 원리적으로 펄스반사법과 투과법 및 공진법으로 크게 나눌 수 있다. 여기서는 현재 주로 사용하는 방법은 펄스반사법에 대해서만 기술해보기로 하겠다. 超音波가 探觸子에서 발진하여 검사체 내에 입사하여 저면 또는 재료 내에 반사체 또는 缺陷으로부터 반사하여 探觸子로 되돌아오는 시간을 감안하여 探傷장비에서는 주기적으로 일정시간 (주로 수 마이크로초) 동안 펄스를 발진하고 휴지시간 (약 1/1000 초 정도) 을 경과한 뒤 다시 펄스발진, 휴지를 반복한다. 일단 발진된 超音波는 試驗體 내를 전진하여 저면 또는 기타 기하학적인 반사체에서 반사하거나 試驗體 내에 缺陷 등에서 반사하여 探觸子로 되돌아오는 데 이를 探觸子에서는 발진 이후 되돌아올 때까지의 시간을 측정하여 이를 CRT 화면에 횡축으로 표현하고 신호의 세기를 종축으로 표현하는 화면에서 缺陷의 유무 및 형상을 판정하는 기법이다. 이를 A-SCOPE 화면 방식이라고 하며 만약 이와같은 超音波探觸子를 검사체 표면을 주사하여 缺陷의 양상을 옆에서 단면도를 보는듯한 화면 형식을 B-SCOPE 방식, 위에서 아래로 단면개념으로 본 화면을 C-SCOPE 방식이라고 한다.

2.2.5 超音波 探觸子

超音波 探觸子는 일종의 에너지 변환장치로서 1950년대 이후에 성능이 우수한 여러 종류의 超音波探觸子가 개발되고 이에 걸맞는 전자기술이 발달함으로써 超音波探傷法이 非破壞檢査 방법의 하나로 각

광을 받게되는 이유가 되었다. 超音波 探觸子는 전기 에너지를 기계적인 에너지 즉 음향 에너지로 변환 시키기도 하고 음향 에너지를 전기 에너지로 변환 시키기도 하는 즉 가역적인 에너지 변환소자이다. 따라서 소요되는 주파수의 전기에너지를 探觸子에 인가하면 그에 해당하는 주파수의 음향파 즉 超音波가 발진될 수 있으며 반대로 超音波 즉 음향에너지가 探觸子에 가해지면 이에 해당하는 전기에너지가 발생하여 이를 증폭시켜서 화면에 표현할 수 있게 된다. 2차 대전 이전에는 자연계에 존재하는 수정을 가공하여 探觸子 재료로 사용하였으나 최근에는 이보다 에너지 변환효율이 훨씬 우수한 인공재료, 바륨타이타네이트 (Barium Titanate), PZT, PLZT 등의 세라믹 재료가 개발되어 널리 사용되고 있다.

2.3 磁氣探傷試驗

2.3.1 磁氣探傷 원리

자석에 가까이 가면 자석에 끌리는 물질과 끌리지 않는 물질이 있는 데 끌리는 물질을 강자성체라 부르고 이러한 힘이 존재하는 공간을 磁場이라고 부른다. 磁場은 자석 부근이나 전류가 흐르고 있는 도체 주위에 존재하며 철강 재료와 같은 강자성체는 磁場 내에서 재료 자체가 자석이 되고 재료 내부로 磁束이 통과한다. 이와 같이 磁束이 잘 통할 수 있는 검사체에 대해 磁束의 통로에 缺陷이 있으면 缺陷 자체는 강자성체가 아니기 때문에 磁束에 대한 저항이 매우 커서 (철강의 수십배 에서 수백배) 磁束의 대부분은 缺陷을 피해서 지나간다. 그리고 磁束의 일부는 缺陷 속으로 혹은 철강재의 외측으로 새어 나오는 데 이것을 漏洩磁束이라 한다. 이와 같이 철강 재료가 磁化되면 缺陷으로 인하여 漏洩磁束이 발생하는 데 이러한 漏洩磁束을 검출함으로써 缺陷을 탐지할 수 있다. 그러나 缺陷이 磁束의 방향과 평행에 가까울수록 漏洩磁束은 작아지며 완전히 평행하면 漏洩磁束이 생기지 않기 때문에 缺陷을 탐지할 수 없다. 따라서 磁粉探傷試驗에서는 검출할 缺陷 방향에 대한 磁束의 방향 즉 磁場의 방향을 선택하는 것이 중요하다.

2.3.2 磁氣探傷 방법

1) 磁場測定探傷法

漏洩磁束을 Hole 素子, MD (Magnet Diode) 등을

이용하여 측정하는 방법으로 缺陷 신호가 전기신호로 얻어지기 때문에 자동화 시험에서는 적당하지만 단순한 모양의 철강재가 아니면 적합하지 않다. 강관 및 봉 들의 고속자동화 시험에 사용되고 있으며 설비비 특히 송신장비가 고가이다.

2) 磁氣記錄探傷法

試驗體에 자기녹음테이프 등을 접촉시켜서 漏洩磁束은 자기녹음테이프에 복사하여 이것을 재생헤드 등을 사용하여 전기 신호로 바꾸어 缺陷을 검출하는 방법으로서 자동화에 적당하고 探傷 결과의 기록이 용이하다. 또한 缺陷 정보를 녹음한 테이프에 철분을 적당히 사용함으로써 缺陷의 모양을 보는 것이 가능하여 강관의 용접부 시험 등에 이용되고 있다. 그러나 시험편이 간단한 모양이 아니면 적용하기가 곤란하며 magnetography, 磁氣테이프探傷法, 録磁探傷法이라고도 부른다.

3) 探査코일法

漏洩磁束을 探査코일로 자르면 코일에 기전력이 생기는 현상을 이용하는 방법으로 자동화 시험에는 적당하지만 試驗體가 단순한 형태를 갖지 않는 경우에는 적용하기가 곤란하다. 또한 이 방법은 磁氣記錄探傷法과 같이 전기신호가 漏洩磁束의 시간 미분으로 얻어지기 때문에 試驗體와 探査코일과의 상대속도가 빠를수록 고감도가 되고 저속에서 試驗하는 것이 곤란하다. 이때 探査코일에서는 공심 또는 철심코일이 사용되며 광산용 와이어 로우프의 試驗 등에 널리 이용되고 있으며 缺陷의 정량적인 측정이 곤란하다.

4) 磁粉探傷試驗

漏洩磁束이 철분에 吸引되는 현상을 이용하는 방법으로 현재 가장 널리 사용되는 방법이다. 試驗體의 모양이나 크기에는 전혀 관계없이 적용 가능하지만 객관성있는 자료를 남길 수 없고 試驗 결과를 사람의 눈으로 판정하기 때문에 缺陷을 놓칠 위험성이 있다. 自動化 試驗도 하고 있는 데 이러한 自動化 試驗 방법은 試驗 조작을 자동화하는 것으로 관찰하는 것을 TV 카메라로 대처하여 探傷하는 데 試驗體의 모양에 따른 제약점이 많다. 磁粉探傷試驗은 손으로 하는 조작이 비교적 많기 때문에 작업자의 기량에 좌우되는 경우가 있다.

2.3.3 磁粉探傷試驗

磁粉探傷試驗을 위해서는 磁場을 가하여야 하는데 이와 같은 磁場의 發生源으로서 자석의 양극간에 발생한 磁場과 전류가 흐르는 도체 주위에 磁場 등이 이용되고 있다. 전류에 의한 磁場을 이용하는 경우에는 磁場의 방향은 전류의 방향과 직각이기 때문에 전류와 평행한 방향의 缺陷을 검출하기가 쉽다. 磁束을 이용하는 방법을 극간법이라고 하는데 자석의 양극간 연결선 방향이 磁場의 방향이다. 극간법과 plod 법은 비교적 대형의 試驗體 및 용접부 등에 많이 이용하고 있다. 試驗體에 가하는 磁場의 強度는 試驗體의 자기적 성질에 따라 측정되는데 試驗體의 모양이 복잡할 경우에는 試驗體 표면에 실제로 가한 磁場의 強度를 나타내는 인디케이터로서 A 형 표준 시험편이 사용되고 있다. 이것은 20 mm × 20 mm, 두께 0.05 - 0.1 mm 철판에 원형 또는 직선형의 人工缺陷을 부착한 것으로서 원형의 것은 磁場 방향 인디케이터로도 이용된다.

* 磁粉 : 漏洩磁束을 흡착시키기 위해 만들어진 철분을 磁粉이라고 한다. 磁粉은 수 마이크로에서 수십 마이크로의 미세한 철가루에 착색을 한 非螢光磁粉과 철분에 螢光體를 부착시킨 螢光磁粉이 있다. 非螢光磁粉은 흑색, 회색, 갈색 등이 많으며 試驗體 표면과 잘 구별되는 색을 선택하여 사용하는 것이 좋으며 螢光磁粉은 어두운 곳에서 자외선을 비추면 가시광선이 발생하고 매우 선명도가 높기 때문에 완성품의 정밀 試驗에 사용된다.

* 건식법과 습식법 : 건식법은 공기를 매체로 하여 磁粉을 사용하는 방법으로서 표면이 거칠은 試驗體에 적합하기 때문에 가공하지 않은 재료의 試驗에 많이 이용한다. 습식법은 磁粉을 석유, 물 등에 타서 검사액을 만들어서 사용하는 것으로 건식법에 비해 감도가 높고 복잡한 형상의 試驗體에도 적용하기 쉽기 때문에 완성품의 試驗에 이용되는 경우가 많다.

* 磁粉 모양 : 缺陷 등에 磁粉이 흡착해서 생긴 모양을 磁粉 모양이라고 부르고 磁粉 모양에는 缺陷에 의한 것과 缺陷 이외의 원인에 의해 생기는 擬似 모양이 있다. 擬似 모양은 재질의 경계 및 試驗體의 절단면 등의 급변 부위 등에 나타나는 것이 많다.

* 磁粉探傷의 특징 . 表面缺陷의 검출감도는 매우 높으나 内部缺陷의 검출은 어렵다.

· 철강재료와 같은 강자성체 이외에는 적용이 불가능하다.

- 缺陷의 정량화가 어렵고 缺陷의 위치 및 크기 측정이 가능하다.
- 試驗 결과가 검사자의 기량에 좌우되는 경우가 있다.

2.4 浸透探傷試驗

2.4.1 浸透探傷試驗의 원리

浸透探傷試驗은 試驗體 표면의 缺陷(주로 龜裂)을 눈으로 보기 쉽게 확대시킨 상으로 나타내는 방법이며 다음 네 단계 기본 處理를 하게 된다.

1) 浸透處理: 우선 시제품을 浸透液 속에 침적하든가 또는 試驗品 표면에 spray 또는 솔로써 浸透液을 바른다. 만일 試驗品의 표면에 흠이 있으면 그 속에 浸透液이 스며들어 간다.

2) 洗淨處理: 浸透液이 흠이 간 속에 잘 스며들어가면 흠 이외에 試驗品 표면에 부착된 浸透液만을 물 또는 洗淨液을 사용해서 제거한다.

3) 現像處理: 다음에 백색의 미분말 現像劑를 시제품 표면에 바르거나 spray 하면 흠 속에 잔류하고 있는 浸透液은 現像劑에 의해서 빨려나와 표면에 널리 퍼져서 황록색의 형광 또는 적색의 指示 모양을 만든다.

4) 관찰: 指示 모양은 자외선에 의해 강한 螢光을 발하든가 또는 자연광 밑에서 적색을 내든가 하여 식별하기 쉽다. 이것을 관찰함으로써 미세한 흠도 육안으로 발견할 수 있다. 검출할 수 있는 흠의 최소 크기는 探傷法, 探傷 作業의 適否, 試驗品의 표면 거칠기 등으로 좌우되며 일률적으로 말할 수 없으나 깊이 0.02 mm, 폭 0.001 mm 정도이다. 또 螢光浸透探傷試驗에 있어서는 형광휘도가 높은 浸透液을 사용하든가 試驗品에 반복응력을 주어가면서 探傷하는 방법 등에 의해 검출 감도를 더욱 높이는 방법도 있다.

2.4.2 浸透探傷試驗法의 기본

1) 浸透探傷試驗의 종류

浸透探傷試驗法은 사용할 浸透液의 차이와 洗淨形式에 따라서 몇가지의 종류로 분류할 수 있다. 우선 색조의 차이로서는 螢光浸透探傷試驗과 染色浸透探傷試驗의 두 가지로 크게 나눌 수 있다. 螢光浸透探傷은 형광제를 포함한 浸透液을 사용하는 방법인데, 파장이 360 옴그스트롬의 자외선을 조사하여 缺陷

指示 모양을 황록색으로 발광시켜서 흠을 검출하는 방법이다. 이 방법은 관찰하는 검사실을 어둡게 하는 동시에 자외선조사장치(Black Light)가 필요하다.

染色浸透探傷은 적색염료를 포함한 浸透液을 사용하는 방법이며 자연광 또는 백색광 밑에서 적색의 缺陷指示 모양을 관찰하는 방법이다. 밝은 곳이면 실내나 실외를 막론하고 試驗을 할 수가 있으며 試驗 장소, 전원, 探傷裝置 등의 제약은 螢光浸透探傷試驗에 비해서 훨씬 적다. 전술한 바 있는 두 방법에 따라 浸透液의 洗淨형식의 차이, 즉 水洗性, 後油化性, 溶劑除去形에 따라 水洗性 浸透探傷試驗, 後油化性 浸透探傷試驗 및 溶劑除去性 浸透探傷試驗의 세 종류로 분류된다. 水洗性 및 後油化性 浸透探傷試驗에 사용하는 浸透液은 모두 水洗淨으로 하고 있으나, 水洗性 浸透液은 그대로 洗淨할 수 있는데 반해서 後油化性 浸透液은 액 그자체는 水洗性이 없으나 浸透處理 후에 유화제를 첨가함으로써 水洗性이 된다. 溶劑除去性 浸透探傷試驗에 사용하는 浸透液은 유기용제의 洗淨劑에 따라 洗淨處理를 해야 한다. 이상, 浸透探傷試驗法은 浸透液의 색조의 차이 및 洗淨방식의 차이에 따라 다음과 같이 여섯 가지 종류의 試驗法으로 분류된다.

- i) 螢光浸透探傷試驗에 속하는 방법
 - 水洗性 螢光浸透探傷試驗
 - 後油化性 螢光浸透探傷試驗
 - 溶劑除去性 螢光浸透探傷試驗
- ii) 染色浸透探傷試驗에 속하는 방법
 - 水洗性 染色浸透探傷試驗
 - 後油化性 染色浸透探傷試驗
 - 溶劑除去性 染色浸透探傷試驗

2) 現像劑의 종류

現像法에는 濕式現像, 連乾式現像, 乾式現像, 無現像 등의 네 가지 방법이 있다.

* 濕式現像法: 濕式現像法은 백색미분말의 現像劑를 물에 분산시켜 이 濕式現像劑를 사용하는 방법으로서, 제품을 現像劑에 浸透시키든가 또는 스프레이로 적용한다. 그리고 건조시키면서 試驗品에 백색의 현상피막을 만들어 이것이 흠속의 浸透液을 빨아들여서 指示 모양을 만든다. 이 방법은 많은 양의 試驗品探傷에 적합하므로 水洗性 螢光浸透探傷試驗法에 사용하는 경우가 많다. 즉 시간의 경과에 따라 缺陷指示 모양이 퍼져서 크기와 형태가 변화하므로 주의하여야 한다.

* 速乾式現像法 : 速乾式現像法은 백색미분말의 現像劑를 휘발성의 유기용제에 분산시킨 速乾式現像劑를 사용하는 방법으로 試驗品에 스프레이로 現像劑를 사용하면 매우 빨리 건조하여 試驗品에 백색현상피막이 생겨서 이것이 흠 속의 침투액을 빨아내어서 指示 모양을 만든다. 이 방법은 現像 조작이 매우 간단하므로 螢光 또는 染色의 溶製除去性 浸透探傷試驗法에 적용할 때가 많다. 이것도 濕式現像法과 마찬가지로 시간 경과에 따라 指示 모양이 퍼져서 잘 보이지 않기 때문에 주의가 필요하다.

* 乾式現像法 : 乾式現像法은 건조한 백색미분말의 現像劑를 그대로 사용하는 방법이며, 試驗品을 現像劑에 침적시키거나 또는 現像장치 내에 試驗品을 두고 現像劑를 송풍산포시켜서 적용하면 現像劑는 試驗品 表面에 부착하여 이것이 흠으로부터 빨아낸 浸透液에 의해서 表面에 고정된 指示 모양을 만든다. 이 경우 흠 부분에 부착한 現像劑의 입자는 모든 浸透液으로 뒤집어 쓴 입자이며, 浸透液이 부착 안된 입자는 여분으로 부착하지 않는다. 따라서 缺陷 指示 모양은 시간이 경과해도 퍼지지 않고 선명한 상을 보여주므로 근접한 흠의 검출에는 적합하다. 이 방법은 後油化性 螢光浸透探傷法 또는 水洗性 螢光浸透探傷法과 조합해서 실시할 때가 많다. 染色浸透探傷試驗法에는 적용할 수 없다.

* 無現像法 : 無現像法은 洗淨處理 후에 現像劑를 사용하지 않고 缺陷指示 모양을 만드는 방법으로 형광휘도가 높은 浸透液을 사용하는 水洗性 螢光浸透探傷試驗法이라든가 또는 試驗品에 되풀이 응력을 주어 가면서 缺陷指示 모양을 검출하는 방법 등에 적용한다. 이런 경우에는 乾式現像法과 마찬가지로 指示 모양은 퍼지지 않으나 染色浸透探傷試驗에는 적용할 수 없다.

2.4.3 浸透探傷試驗의 장단점

- 1) 試驗品 表面에 벌어져 있는 흠이라도 검출이 안될 경우도 있다.
- 2) 철강재료, 비철금속재료, 세라믹, 플라스틱 등의 표면 흠의 探傷이 가능하다.
- 3) 형상이 복잡한 試驗品이라도 1회의 探傷조작으로 거의 전면에 걸쳐 探傷이 가능하다.
- 4) 원형상의 흠이라도 보기 쉬운 指示 모양을 나타낸다. 또 여러 방향으로 생긴 흠이 공존해서 있을 경우도, 1회의 探傷작업으로서 探傷할 수 있다.

5) 대규모 장치를 사용하지 않고서도 探傷작업이 가능하다.

6) 探傷試驗의 결과는 探傷을 실시하는 검사자의 기술에 좌우되기 쉽다.

7) 試驗品の 表面거칠기에 영향을 받기 쉽다.

2.5 電磁誘導試驗 (渦電流探傷法)

電磁氣誘導試驗이라는 것은 傳導性 試驗體에 소용돌이 電流 (Eddy Current, 渦電流) 를 발생시켜서 渦電流의 변화를 측정해서 試驗品の 探傷試驗, 材質試驗, 형상 치수試驗 등을 하는 것을 의미한다.

2.5.1 渦電流의 발생과 탐지

* 渦電流의 발생 : 두 개의 코일을 접근시키면서 한 쪽 코일에 交流 電源을 연결시켜서 交流을 흘리면 다른 쪽 코일에 交流가 誘導된다. 이것은 코일에 電流가 흐를 때 동시에 이에 상응하는 磁場이 발생하여 다른 쪽 코일에 그 磁場이 관통하기 때문이다. 여기서 2 차 코일 대신에 금속 試驗體를 대치하여도 똑같은 현상이 발생하며 이와같이 交流磁場을 이용하여 도체를 관통시키는 磁束을 시간적으로 변화시키면 그 도체에 기전력이 발생하여 交流가 흐르게 된다. 이러한 현상을 電磁誘導라고 하며 이 때 발생한 전류를 渦電流 (Eddy Current) 또는 誘導 電流라고 한다. 渦電流의 분포 및 電流의 크기는 코일의 형상 치수, 交流의 주파수, 전기전도도, 자기투자율 (Magnetic Permeability) 치수, 도체와 코일간의 거리 및 도체 표면의 흠과 같은 缺陷有無에 따라 변화한다. 따라서 도체를 흐르는 渦電流를 점검하게 되면 試驗體의 物理的 性質, 缺陷의 有無, 形상 치수의 변화 등의 정보를 알 수 있다.

그러나 渦電流는 交流이므로 도체의 表面에 많이 흐르고 내부로 갈수록 指數函數의으로 감소하는 表皮效果라는 현상이 있다. 그러므로 試驗體로부터의 정보는 表面에서 많은 것을 얻을 수 있고 試驗體 내부로 들어갈수록 적어지는 데 渦電流가 어느정도 도체 내부로 浸透할 수 있는가의 정도를 나타내는 용어를 浸透깊이라고 부른다. 이는 渦電流의 밀도가 試驗체 表面의 약 37% 가 되는 깊이를 말하는 데 주파수, 전기전도도, 자기투자율의 함수로서 이들이 증가함에 따라 浸透깊이는 감소한다.

2.5.2 渦電流의 탐지

試驗體에 흐르는 渦電流의 방향은 코일의 형상과 동일한 패턴이며 電流가 흐르는 방향과는 반대 방향이다. 渦電流를 만드는 交流磁場에 따라 코일에는 시간적으로 변화하는 磁束이 관통하여 코일에 交流가 誘導된다. 이 電流의 방향은 渦電流 방향과 반대가 되므로 결국 渦電流를 발생시키기 위해서 코일에 흐르는 電流의 방향은 동일하다. 즉 코일에 흐르는 電流는 渦電流의 반작용에 따른 電流만큼 증가하는데 만약 渦電流의 경로에 缺陷이 존재한다면 缺陷에 의해서 渦電流가 변화하게 되며 이를 측정함으로써 試驗體의 缺陷을 알아낼 수 있다. 따라서 試驗體 또는 코일을 일정한 속도로 이동시킬 때 渦電流의 변화 과형으로부터 缺陷의 종류, 현상, 크기에 대한 정보를 구해낼 수 있다. 또한 試驗體 表面과 코일간의 거리 변화가 渦電流를 변화시키므로, 試驗面의 거칠기, 피막의 두께 등의 정보도 알아낼 수 있다.

2.5.3 渦電流 探觸子

渦電流 探觸子は 試驗體의 형상, 試驗의 목적에 따라서 여러 종류의 코일이 사용되고 있다. 형상에 따라 크게 나누면 관통형 코일, 프로브코일 (Probe Coil), 內插形 코일이 세 가지로 나뉘어진다. 관통형 코일은 단면이 원형의 봉, 관 등의 바깥쪽으로 하여 감은 형의 코일이며, 線, 棒, 管 등의 검사에 사용된다. 프로브 코일은 板, 인고트 (Ingot), 棒 등의 표면에 대해 사용하는 데, 특히 부분적 검사에 적합하다. 보통 코일 중심에 자성체 철심을 삽입하여 試驗 감도를 높여서 사용한다. 內插形 코일은 Inner Probe 라고

부르기도 하는 데, 판이나 구멍 등에 삽입하여 내면 검사에 사용하며 프로브형 코일과 같이 코일 속에 자성체 철심을 삽입한 것도 사용되고 있다.

2.5.4 渦電流探傷試驗의 적용과 장단점

渦電流探傷試驗은 철강이나 비철금속 및 흑연 등과 같은 전기전도성이 있는 재료로 만들어진 공산품에는 모두 적용된다. 그러나 유리, 돌, 합성수지 등의 비전도성 재료에 대해서는 적용할 수 없으며 다음과 같은 목적으로 사용될 수 있다.

- * 探傷試驗 : 試驗品 표면 및 표면 가까이 존재하는 缺陷의 검출
- * 材質試驗 : 금속 탐지, 금속의 종류, 성분, 熱處理 상태 등의 변화를 검출
- * 치수試驗 : 試驗品の 치수, 피막의 두께, 부식 상태, 변위의 측정
- * 형상試驗 : 試驗品の 형상 변화 판별 渦電流探傷의 장단점은 다음과 같다.
- * 試驗결과가 직접 전기 출력으로 얻어지므로 試驗의 자동화가 가능하다.
- * 비접촉성 방법이므로 試驗속도가 빠르다.
- * 表面 缺陷 검출에 적합하다.
- * 缺陷(흠), 재질 변화, 치수 변화 등 적용 범위가 넓다.
- * 형상이 단순해야 적용할 수 있다.
- * 표면 밑 깊은 위치에 缺陷은 검출하기가 어렵다.
- * 試驗 대상 또는 목적 이외에 재료적 요인에 의한 영향이 잡음의 원인이 될 수 있다.
- * 試驗 결과를 분석하기가 어려운 경우가 있으며 경험 및 숙련도가 높은 검사자만이 정확한 평가를 내릴 수가 있는 경우가 많다.