

# 결함 및 구조물의 안전성에 있어서 비파괴평가(III)

## - 비파괴평가의 방법 -

### Nondestructive Evaluation on Safety Assurance of Structures and Defects

#### - Nondestructive Evaluation -

남기우

K. W. Nam

#### 11. 적용대상

일반적으로 소재를 비롯한 각종 기기와 구조물의 검사는 여러 가지방법을 사용하여 수행한다. 그 중의 한 수단으로서 비파괴시험을 사용하여 수행하는 검사가 비파괴검사이다. 결함의 검출을 비롯하여 재질의 판정, 두께 측정 등 각종계측 및 변형률측정 등에 이용되고 있다.

또, 비파괴시험을 적용하는 분야에는 검사의 수단으로 적용하는 분야, 조사의 수단으로 적용하는 분야 및 시험·연구의 수단으로 적용하는 분야가 있다. 이 중에서 공업적 이용가치가 높고, 가장 자주 사용되고 있는 것이 검사의 수단으로 적용하는 분야이다.

이와 같이 여러 가지의 목적으로 수행하여진 검사는 실시된 시기에 따라 크게 나눌 수 있다. 아래에 적용대상에 대하여 논하면,

##### (1) 품질평가

소재 및 기기구조물을 제조할 때 실시하는 검사는 재료 및 용접부의 품질을 평가하기 위하여 수행한다. 즉, 소재와 용접부의 제조중에 실시하는 검사는 제조된 물건이 규정된 규격 혹은 설계서를 기초로 제조되어, 규정된 품질을 만족하고 있는가 아닌가를 확인하는 것을 목적으로 수행된다. 비파괴시험은 이 목적을 달성하기 위하여 품질관리의 한 수단으로 사용되고 있다. 따라서, 이 시험의 결과를 이용하여 실시하는 재료 및 용접부의 평가는 품질평가이며, 이때 주어지는 판정기준은 품질관리를 위한 관리한계를 나타내는 것이다. 이 관리한계

는 지금까지 이야기한 파괴역학의 개념에 기초하여, 그것에 경험을 더해서, 이 정도의 품질의 것이 라면 주어진 설계 조건하에서 사용되어도 중대한 재해를 초래하는 파괴사고가 발생할 우려는 없다는 판단으로 결정되어야 한다.

그러나, 여기서 판단의 기초로 한 설계조건은 어디까지나 설계시점에서 예측한 분위기 조건, 응력 조건이고, 사용개시후에 가해지는 여러 가지의 조건은 고려하지 않았기 때문에 평가한 시점에서는 충분한 품질을 가지고 있는 것이라도, 사용 후에 어느 정도의 손상이 발생 할 수 있다. 따라서 품질 관리 한계로서의 판정기준을 설정할 때에는 설계 조건하에서 조금이라도 발생할 것이 예측되는 손상의 원인이 되는 인자는 가능한 한 제거해야 한다. 그러나 그 정도는 공업재료를 사용하고 있는 이상, 경제성을 고려해서 결정하고, 이것을 받아들인 이후에는 품질관리의 관리기준으로 이것을 지키기 위해서 노력 할 필요가 있다.

##### (2) 수명평가

사용개시 후, 일정기간 마다 실시하는 검사는 다음 검사까지 안전하게 사용할 수 있을까 어떨까를 추정하여 평가하고자 하는 것이며, 기기 및 구조물의 수명 평가를 위하여 실시하는 것이다. 즉, 정기 검사, 보수검사 및 공용기간중 검사에서는 사용조건 하에서 새로이 발생한 이상상태를 검출하고, 파괴역학적 고찰에 의하여 종류, 형상, 크기, 발생개소, 응력수준, 응력방향과의 관계 등에서 다음 검사까지 어느 정도 성장할 것인가를 예측하고, 보수 혹은 폐기 여부를 결정하지 않으면 안 된다. 따라서, 그 평가기준은 결함의 발생원인에 따라 다르며, 평가방법의 기준을 나타내는 것은 가능해도 품질 평가시 판정 기준을 단순히 나타낼 수 없다.

접수일 : 2000년 4월 18일

남기우 : 부경대학교 재료공학부

그러나, 수명을 평가하기 위해서는 검출된 이상부에 대한 정보를 근거로 하여 그 성장량을 예측해야 한다. 그때의 기본 데이터가 되는 결합의 종류, 형상, 크기, 위치 및 방향을 가능한 한 정확하게 구하는 것이 요구된다. 이들 데이터를 사용하여 수명을 평가하는 방법으로서 앞에서 논한 파괴역학적 수법이 중요하다.

품질평가 및 수명평가를 위한 검사에 비파괴시험을 이용하고자 할 경우에는 항상 다음에 나타내는 두 가지를 잊어서는 안 된다. 비파괴시험은 파괴시험과의 비교시험이며, 비파괴시험에 의하여 재료의 강도를 직접 구할 수 없다. 이 때문에 파괴시험에 의하여 검증된 비파괴시험결과를 가지고 있는 것이 중요하다. 시험결과는 반드시 정해진 시기에 항상 같은 비파괴시험방법에 의해 얻어진 것을 사용하여 비교해야 한다. 비파괴시험은 이미 설명한바와 같이 재료, 기기, 구조물 등에 손상을 입히거나, 파괴하지 않고 그들의 화학적 성질, 기계적 성질 및 내부구조등을 추정하기 위하여 사용되는 시험법이다. 그러나, 이들 성질을 추정하고, 어떤 판단을 내리기 위해서는 그것과 동일한 조건을 가지는 시험체에 대하여 비파괴시험을 실시하고, 그 후 파괴시험을 실시하여 양자의 시험결과의 관계를 미리 구해두어야 한다. 즉, 비파괴시험이란 파괴시험에 의하여 미리 구해진 결과를 비파괴시험에 의하여 구해진 결과와 조합함으로써 비교 추정하려는 비교시험방법이다. 따라서, 비교시험결과가 구해져 있지 않는 경우는 비파괴시험에 의한 평가판정은 곤란하다. 더욱이 중요한 것은 비교할 시기를 반드시 결정해 두어야 한다. 하지만, 그 시기는 품질을 평가하기 위하여 가장 적절한 시기여야 한다. 즉, 제조의 공정이 진행되는 과정에 있어서, 다음 공정에 있어서 재료 혹은 용접부의 품질에 다소의 영향을 준다고 생각되는 공정이 첨가될 경우에는, 앞공정에서 평가된 품질과 달라지게 되므로 다른 공정이 첨가된 후에 품질평가의 시점을 선택해야 한다. 또한, 다른 공정이 첨가되지 않아도 시간 경과에 따른 변화로 재료, 용접부의 품질이 변할 우려가 있는 경우는 이 변화가 충분히 평가 가능한 시점에서 시험을 실시하는 것이 좋다.

### (3) 비파괴시험의 시험·연구에 적용

재료 및 용접 등에 관한 시험연구에 있어서 비파괴시험은 대단히 중요한 수단이다. 그것은 일일이 파괴시험을 실시해서 조사하지 않고도, 재료내부 혹은 표면에 일어난 극히 미시적인 현상에서부

터 육안으로도 쉽게 파악할 수 있는 현상까지 물리현상의 변화로써 다루는 것이 가능하기 때문이다. 그 가능성과 정도는 취하고자 하는 현상에 의하여 시험법마다 다르기 때문에 시험법의 선택이 시험연구의 성공에 중요한 열쇠이다. 따라서 기존의 비파괴시험 방법만에 집착하지 말고, 새로운 시험기술의 개발과 시험연구 등 유효한 이용을 생각해야 한다.

### (4) 대상과 검사시기

비파괴시험의 대상은 소재, 부품, 최종제품으로 크게 나눌 수 있다. 소재, 부품에 있어서는 재료의 스크리닝을 목적으로 하고, 제품에 대해서는 그 수명평가를 포함한 신뢰성평가를 대상으로 하는 것이 많다.

또한, 비파괴검사의 적용시기에 따라서 다음 세 가지 검사시기로 나눌 수 있다.

- 1) 공용전 검사
- 2) 공용중 검사
- 3) 가동중 검사

공용전 검사는 제작된 것이 규격 혹은 사양을 만족하고 있는가를 확인하기 위한 검사로서, 스크리닝을 실시하는 것이 이에 해당된다. 공용중검사는 사용하고 있는 제품을 다음 검사시기까지 안전하게 사용할 수 있을까 어떨까를 평가하는 검사이다. 한편, 모니터링 기술로써 가동중 검사는 기기 구조물의 사용 중에 생기는 결함을 검출하고, 수명을 평가하는 수법이다. 공용전 검사와 공용중 검사는 제품의 사용을 중지하고 실시하는 검사이지만, 가동중 검사는 재료 사용중의 검사이다. 가동중 검사는 현재로서는 상당히 힘든 기술이지만, 탄성파의 검출 기본원리를 응용한 음향방출(acoustic emission, AE)법의 모니터링 기술 확립은 비파괴검사의 중요한 과제라 할 수 있다.

## 12. 적용상의 주의

### (1) 비파괴시험 결과의 신뢰성

비파괴시험 결과의 신뢰성에 한정해서 생각해보면, 언제, 누가, 어디에서 실시해도 동일 시험체에 대해서는 같은 시험결과가 얻어져야 한다. 즉, 비파괴시험 결과의 시간적인 안정성이 있어야 한다. 비파괴시험은 특정의 물리현상을 이용하고, 투과, 흡수, 산란, 반사, 누설 또는 침투 등에 의한 변화를 특정 검출체를 이용해서 검출하고, 이상의 유무를 조사하는 방법이다. 따라서 이상이 검출될지

의 여부는 시험체의 재질, 조직, 형상, 표면상태, 사용하는 물리현상의 성질, 검출하고자 하는 이상을 나타내는 부분의 상태, 형상, 크기, 방향성, 게다가 검출체의 특성 등에 크게 영향을 받는다. 이를 위해 적절한 시험법을 이용해서 이상부분을 가능한 한 완전히 검출하도록 해야한다. 그러나, 비파괴시험을 실시해서 무결함이라 판단되는 정보가 얻어져도, 반드시 무결함이라고 생각할 수 없다. 특히, 비파괴시험에 의하여 얻어지는 이상부분의 종류, 형상, 크기, 방향성 등에 관한 정보는 이용하는 시험 방법에 따라 각각 다르고, 시험방법의 특성과 이상 부분의 성질의 조합에 의해, 어떤 경우에는 매우 고정밀도의 측정이 가능하지만, 다른 경우에는 큰 오차를 동반해서 측정되는 경우가 있기 때문이다.

이런 것들은 품질평가와 수명평가를 위해서 비파괴시험을 수행함에 있어 매우 중요하다. 이것은 비파괴시험 결과의 신뢰성이 시험 방법과 시행법, 장치, 기술자의 시험기량 및 평가능력등 인자의 영향을 받기 때문에 이들을 포함해서 종합적으로 검토해야 한다.

## (2) 비파괴시험 방법의 선택

비파괴시험에 있어서 부적당한 시험 방법을 이용하거나, 시험조건이 정확하지 않은 경우에는 그 결과의 신뢰성은 현저하게 저하한다. 따라서, 시험방법 자체가 가지는 특성에 의해서 완전히 결함을 검출할 수 없어도 가능한 한 결과의 신뢰성을 높이기 위해서는 검출하고자하는 이상 부분의 성질에 적합한 시험방법, 시험조건을 선택하도록 해야한다. 그러기 위해서는 검출하고자 하는 이상부분의 성질을 예상하는 것이 필요하다. 즉, 시험체의 재질, 가공의 종류, 가공 이력 혹은 사용 이력을 검토하고 어떤 종류의 결함이 어느 부분에 어떤 형태의 형상을 해서, 어느 방향을 향해 존재하고 있을 가능성이 있을까, 또 그 성질은 어떤 형태의 것일까를 가정하고, 그것을 검출하는데 가장 적절한 시험방법을 선택하도록 해야한다. 더욱이 시험방법이 결정되더라도 시험 조건에 따라서는 반드시 적절한 방법이 될 수 있는 것은 아니기 때문에, 시험방법이 최대의 능력을 발휘할 수 있는 시험조건을 선택해야 한다.

## (3) 비파괴시험장치

올바른 비파괴시험 결과를 얻기 위해서는 비파괴시험에 이용하는 장치가 충분한 성능을 가지고,

또한 사용하는 도중에는 항상 그 성능이 보증되어, 일정하게 유지되어야 한다. 같은 비파괴시험방법을 사용해도 그것을 실시하는 장치의 종류는 대단히 많으며, 각각 적용범위와 적용목적은 가지고 제작되어 있다. 따라서, 목적에 따라서 최적인 적용범위의 장치를 선택하지 않으면, 완전히 이상부를 검출할 수 없는 경우가 있다. 게다가, 장치의 성능은 방치해 두어도 거의 성능이 변하지 않는 것과 항상 교정을 하면서 사용해야하는 것이 있다. 이러한 장치에 의한 특성을 충분히 확인하여, 필요한 것에 대해서는 정기적으로 또는 사용전에는 반드시 교정하고, 언제라도 올바른 시험결과가 얻어질 수 있도록 관리할 필요가 있다.

## (4) 비파괴검사 기술자

현재, 비파괴시험의 가장 중요한 목적은 각종 공업용에 사용되고 있는 기기, 구조물이 사용 중에 파손하고, 인명에 영향을 미치는 큰 사고가 일어나는 파괴를 미연에 방지하기 위한 검사의 한 수단으로 이용하는 것이다. 따라서, 이것을 수행하는 비파괴검사 기술자의 사명은 중대하다. 만일, 시험을 잘못하고, 잘못된 시험결과를 얻었다면, 큰 경제적 손실을 가져올 염려가 있을 뿐만 아니라, 어느 경우에는 많은 인명 재해를 가져올 우려가 있다. 따라서, 비파괴검사 기술자는 자신에게 주어진 임무와 권한의 범위 내에서 항상 바른 검사를 실시하도록 해야한다. 그것과 동시에 동일한 규격, 동일한 설계서로 행해진 비파괴검사라면, 어느 비파괴검사 기술자가 실시해도, 같은 시험결과가 얻어지고, 또한 재현성이 있어야만 한다. 이것은, 비파괴검사에 의해서 어떤 일정 수준 이상의 품질이라고 할 수 있는 검사 결과가 얻어진 것이라면, 기기, 구조물의 종류 여하에 관계없이, 또한 그 부위에 관계없이 항상 동일한 품질일 것을 보증할 필요가 있는 것을 의미한다. 만일, 일부에서 적절하지 못한 시험기술이 이용되고, 그것에 의하여 잘못된 평가를 했다면, 그 제품의 건전성은 이 부분의 품질로 결정돼 버리게 되게 된다. 그러므로, 비파괴검사 기술자의 기량수준은 항상 일정하게 해 두는 것이 필요하다. 이와 같은 요구때문에 세계각국에서도 비파괴검사 기술자에 대한 기량 인정 제도를 정하고, 비파괴검사 기술 수준의 향상과 안정화를 도모하고, 검사결과에 대한 신뢰성을 높이고자 하고 있다. 더욱이 비파괴시험 기술은 각각의 조건에 의하여 영향을 받기 쉬워 현재까지는 최고의 기술을 사용해도 아직 완전히 결함을 검출하는 것

은 불가능하다. 더구나, 기술적으로 미숙하거나, 혹은 부주의하게 시험을 수행한 경우에는 그 결과의 신뢰성은 극히 낮게 되고, 이 낮은 신뢰성 결과를 사용해서 행해진 건전성의 평가도 신뢰성이 낮은 것이 될 우려가 있다. 즉, 시험 실시에 종사하는 기술자는 인정된 비파괴시험기술을 바르게 사용하고, 가능한 한 정확히 결함을 파악하고, 정확한 판정이 가능한 시험결과를 얻는 것에 전력을 다해야 한다.

(5) 비파괴시험 결과의 판정

비파괴시험에 의해 얻어진 결과는 지금까지 논한 내용을 충분히 이해하고, 주의 깊게 시험을 실시해도 완전히 신뢰할 수 있는 것은 아니다. 따라서, 비파괴시험에 의하여 얻어진 결과에서 품질, 수명을 평가할 경우에는 그 결과를 단지 하나의 정보로써 이용하고, 결코 그 결과만으로 결정적인 결론을 내려서는 안 된다. 한 종류의 비파괴시험만이 아니라, 가능한 한 많은 종류의 비파괴시험을 병행하고, 하나의 비파괴시험이 가지는 단점을 다른 비파괴시험의 장점으로 보완하고, 보다 정확한 많은 정보를 수집하도록 해야 한다. 더욱이 비파괴시험 이외의 시험에 의하여 얻어진 결과도 이용하고, 재료에 관한 지식, 용접에 관한 지식, 가공기술에 관한 지식 등을 이용하여 종합적으로 판단을 내려야 한다. 비파괴시험 결과의 판정 기술은 물리, 화학, 기계, 전기, 재료에 관한 고도의 종합기술이라고 생각된다. 또 비파괴시험을 실시하면 제품의 가격이 상승하게 되는 경우도 있다. 그러나, 비파괴시험의 본래 목적은 제품의 안전성과 함께 경제성도 고려하고, 경제적으로 충분하게 안전성이 확보된 품질이라는 것을 증명하기 위하여 실시하는 것이다.

안전율과 수명평가 등을 실시한다. 여기서 결함을 검출하는(1)-(5)까지가 비파괴검사의 범주이고, 비파괴평가는 (6)-(8)의 영역을 포함한 부분이다.

따라서, 비파괴평가는 결함검출 기술인 비파괴검사 기술의 정밀도 향상과 함께, (1)검출 불능 결함, (2)특정화 불가능한 결함의 존재, (3)검출한 결함 치수(성장균열)와 파괴기점(초기결함)이 된 치수의 대응, (4)파괴모델(미시결함의 생성, 성장, 합체 과정)의 해명, (5)시험법에 의한 결과의 분산 등 문제를 항상 고려하면서 진행해야 한다. 한편 근래에는 비파괴검사의 정밀도 향상법으로 단일 수법의 정밀도 향상만 초점을 맞추는 것이 아니라, 복수의 검사 수법을 동시에 사용한 복합 검사 수법이 제안되어 성과를 거두고 있다. 또 제품의 검사에는 사전에 검사하기 쉬운 형상으로 설계하는 등, 비파괴검사를 고려한 제품 설계수법에 의한 검사 정밀도의 향상도 놓쳐서는 안된다.

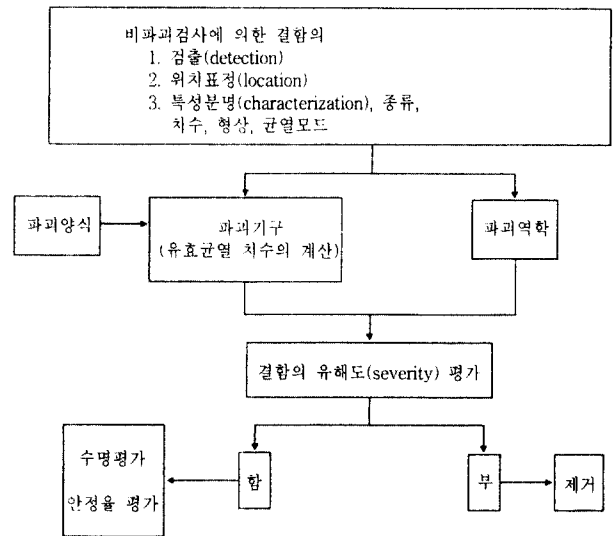


Fig. 13 비파괴 평가법의 흐름도

13. 적용방법

다음으로 품질보증을 대상으로 한 비파괴평가의 흐름도를 Fig.13에 나타낸다. 우선, (1)재료내의 결함 유무를 검출하고, (2)그 위치를 명확히 하고, (3)각 결함의 종류를 분류하고, (4)개개의 결함 크기, (5)형상 등의 특성을 명확히 한다. 다음으로, (6)부하, 환경조건을 고려한 파괴양식을 기초로 한 파괴 기구를 명확히 하고, 파괴역학적 취급에 의하여 결함의 유해도를 결정한다. (7)그 결과를 사용하여 최종적으로 합부의 판정, 즉 재료의 스크리닝을 실시하고, 더욱이 합격한 재료에 대하여는 (8)

14. 종류와 특징

(1) 비파괴시험법의 종류

비파괴시험의 종류로서 이하에 몇 개의 시험법을 소개한다. 이들 비파괴 시험은 현재 사용되고 있는 다수의 비파괴시험중에서도 어느 정도 기대하는 시험의 목적을 달성할 수 있고, 동시에 경제성, 可搬性, 조작성이 우수한 것으로 가장 일반적으로 사용되고 있는 시험법이다. 이 외에 실제로 사용되고 있는 비파괴시험의 종류는 대단히 많다. 현장적으로는 사용되지 않지만, 연구실적으로는 이

용되고 있는 방법과 일반적으로는 이용되지 않지만 특수하게 극히 한정된 분야에서는 이용되고 있는 방법 등 그 수는 대단히 많다.

그러나, 어떠한 비파괴시험 방법이라도 물리현상을 원리로 이용하고 있으며, 많은 비파괴시험의 방법도 이런 면에서 몇 개의 종류로 분류가 가능하다. 이용되고 있는 주요한 원리와 각각의 종류에 속하는 대표적 예를 나타내면 아래와 같다.

- 1) 광학, 색채학의 원리를 이용한 시험방법: 육안 시험(visual testing, VT), 투과탐상시험(penetrant testing, PT)
- 2) 방사선의 원리를 이용한 시험방법: 방사선투과 시험(radiographic testing, RT), 컴퓨터 토모그래픽시험(computed tomography, CT)
- 3) 전자기의 원리를 이용한 시험방법: 자기탐상시험(magnetic testing, MT), 와류탐상시험(eddy current test, ET)
- 4) 음향의 원리를 이용한 시험방법: 초음파탐상시험(ultrasonic testing, UT), 음향방출(acoustic emission, AE)
- 5) 열학적원리를 이용한 시험방법: 서머그라피시험
- 6) 누설의 원리를 이용한 시험방법: 누설시험

이상은 원리적인 면에서의 분류이지만, 비파괴시험을 시험 대상 부위 예를 들어, 시험체의 내부에 관한 정보를 얻고자 하는 것인가, 또는 표면 혹은 표층부에 관한 정보만을 얻고자 하는 것인가에 의해서도 그 종류를 나눌 수가 있다. 각각에 속하는 시험법의 예를 나타내면 다음과 같다.

- 1) 표면 혹은 표층부에 관한 정보를 얻기 위한 비파괴시험 ; 외관시험, 침투탐상시험, 자분탐상시험 및 전자유도시험 등
- 2) 내부에 관한 정보를 얻기 위한 비파괴시험 ; 방사선투과시험, 초음파탐상시험 및 와류탐상시험 등

이상이 시험 대상 부위로 분류한 것이며, 가장 자주 사용되고 있는 분류법이다. 이중에서, 표면에 관한 정보를 얻기 위한 비파괴시험에서는 어떠한 원인에 의하여 그 결과가 얻어졌는가를 직접육안으로 보고, 확인하는 것이 가능하고, 매우 확실한 정보를 입수하는 것이 가능하다. 또 그 정보중에서 단순히 표면에 관한 정보만이 아니라, 내부에 관한 정보도 얻는 것이 가능하다. 이것에 대하여 비파괴시험에 의하여 얻어지는 내부에 관한 정보는, 표면에 관한 정보와 달라서 절단시험을 실시해서 얻는

방법 이외는 육안에 의하여 직접 확인하는 방법은 없다. 이와같은 것에서 시험결과를 정량성이란 면에서 시험 방법을 분류할 수 있다.

- 1) 비교적 정량성이 높은 시험결과가 얻어지는 비파괴시험; 육안시험, 침투탐상시험, 자분탐상시험, 방사선투과시험 및 초음파 두께 측정 등
- 2) 그다지 정량성이 높지 않은 시험결과가 얻어지는 비파괴시험; 초음파탐상시험 및 전자유도시험 등

이상은 비파괴시험의 중요한 분류법에 대하여 나타내었지만, 각각의 비파괴시험 특성을 나타내고 있고, 어느 시험법이 어떠한 분류에 속하고 있는가를 생각하여, 각각의 특성을 살린 이용법을 선택하도록 해야 한다.

비파괴시험은 여러 가지 목적으로 이용되지만, 어느 경우에도 비파괴시험을 이용하여 무엇을 알고자 하는가를 우선 명확히 해 두어야 한다. 그것이 명확해 지면, 비로소 그 목적을 달성하기 위해서는 어떤 시험법을 어떻게 사용해야 하는가를 결정하는 것이 가능하다.

(2) 비파괴시험법의 특징

현재 많이 이용되고 있는 비파괴시험 방법을 분류하면, 결함의 검출과 변형률의 검출로 나누어서 생각할 수 있지만, 여기서는 주로 결함검출에 한해서 이야기한다. 결함의 검출법에는 여러 가지가 있으나, 앞에서 논한 것과 같이 결함이 존재하는 장소에 의하여 내부 및 표층결함으로 나누어진다. 또 결함 검출에는 정적 결함 검출법과 결함이 형성해 성장하는 과정이 얻어지는 동적인 수법이 있다. 종래의 결함 검출은 전자에 속하고, 결함의 성장거동을 파악하는 수법으로 음향방출(AE)법이 있다. 각 검사수법의 적용과 그 문제점에 대하여 간단하게 정리해 둔다.

(a) 방사선투과법

X선 등의 방사선을 이용하여 결함의 존재에 의한 투과상태의 차에 의해 결함을 검출하는 방법으로, 인체에 대한 의료용의 X선 사진과 같은 원리를 이용한다. 검출능을 높이기 위해서는 직접투영법의 경우에는, 고감도필름을 사용해야 한다. 또, 선명도를 높이기 위해서는 필름을 매체에 가까이 해서 작게 해야 한다.

X선 화상은 일방향 평면투과상으로 두께방향을

분해해서 보는 것이 불가능하다. 이에 대해서 X선 CT법의 적용이 실시되고 있으며, 단층화상의 구성이 가능하게 되었다. 현재, 30 $\mu\text{m}$  정도의 균열개구의 검출이 가능하다. 보다 작은 결합검출이 1~5 $\mu\text{m}$  초점 치수를 가진 마이크로포커스 수법에 의해 기대되고 있다. 그렇지만, 균열 개구량이 작은 평면상 균열의 검출감도는 좋지는 않으며, 확실히 검출되는 판상 균열치수는 300~400 $\mu\text{m}$ 라 할 수 있다.

(b) 초음파탐상법

초음파를 사용한 시험법은 음속, 감쇠의 변화를 다루는 방법과 반사에코의 변화를 측정하는 방법으로 나누어진다. 전자는 재료 전체의 평균적 특성을, 후자는 결합 검출을 목적으로 하고 있다. 음속 변화를 측정하는 것에 의해 기공을 및 이방성이 측정되고, 또 전파손실의 측정에 의해 결정립, 제2상 개재물등의 미시조직의 변화가 얻어진다. 한편, 표면파의 분산특성에 의하여 표면의 압축응력의 측정이 가능하게 되었다.

한편, 반사에코를 이용한 경우, 결합의 사이즈 > 계측과장 > m  $\times$  평균입점(m=2~4)의 조건을 만족할 것이 요구된다. 이것은 20 $\mu\text{m}$ 의 결합을 검출하는데 주파수 f=500MHz가 필요하지만, 감쇠적 측면에서 보면 실현하기 어렵고, 현실적으로는 f<100MHz의 고주파 초음파탐상의 적용이 고려되고 있다. 또, 표면파법에 의한 표면 결합 검출도 유망한 것으로, 25 $\mu\text{m}$ 의 결합검출에 성공한 보고도 있다. 센서의 응답특성을 고려해서 반사에코의 주파수 해석에 의한 결합의 종류와 크기를 정량적으로 결정하고자 하는 시도가 실시되어, 역 문제해석으로 주목받고 있다.

이상 초음파탐상의 가능성을 제시하였지만, 이것들은 단순한 형상의 부재 또는 구형결합에 대한 결과이고, 균열상 내부결합의 경우 현실적으로는 100 $\mu\text{m}$  이하의 결합검출은 곤란한 경우가 많다.

또, 초음파현미경으로, 100MHz~1GHz의 초음파가 시료 표면층에 있어서 반사·산란되어, 그 초음파를 검출하고, 해석함으로써 1 $\mu\text{m}$ 에 이르는 높은 분해능과 정량성이 얻어지고 있다. 초음파의 감쇠가 큰 것에 의하여 표면적하의 결합검출에 유효하며, 현재로서는 수십 마이크로의 결합 검출에 한도가 있고, 또 형상부품의 검사에는 적용하기 힘들지만, 재료 연구 수법으로 장래가 기대되고 있다.

(c) 음향방출

고체내의 변형, 변태 및 균열에 동반되어 발생하

는 탄성파를 검출하는 음향방출은,

- 1) 미시균열을 검출할 수 있다.
- 2) 균열의 위치를 평가할 수 있고, 복잡한 형상의 부재에 적용할 수 있다.
- 3) 원파형해석에 의하여 미시균열의 면적과 균열 시간이 정량적으로 얻어진다. 등에 의하여 재료의 스크리닝은 물론, 부재의 수명, 잔여수명 평가에 적용도 진행되고 있다. 특히 근래 몇 년간 변위를 직접 측정할 수 있는 압전형 변환자가 개발되고, 또 변환자, 매체형상에 의존하지 않는 균열의 동적 원래 과정을 주는 음향방출 원파형 해석수법이 개발되어 주목받고 있다. 세라믹의 음향방출 적용으로는 인장시험, 파괴 인성 시험에 있어서 음향방출 발생응력  $\sigma_{AE}$ 를 구하여, 재료의 스크리닝을 실시하는 시도와 우주왕복선 외면의 단열타일 결합검출에 음향방출 적용의 예가 있다. 통상의 음향방출 측정에 의하여 1~5 $\mu\text{m}$ 의 미시균열이 검출된다고 한다. 또, Fig.14에 나타낸 것과 같이 원파형해석에 의한 파괴 인성시험에 있어서 균열 선단 프로세서존에 있어서 15 $\mu\text{m}$  정도의 미소결합이 정량적으로 평가되는 단계에 있다.

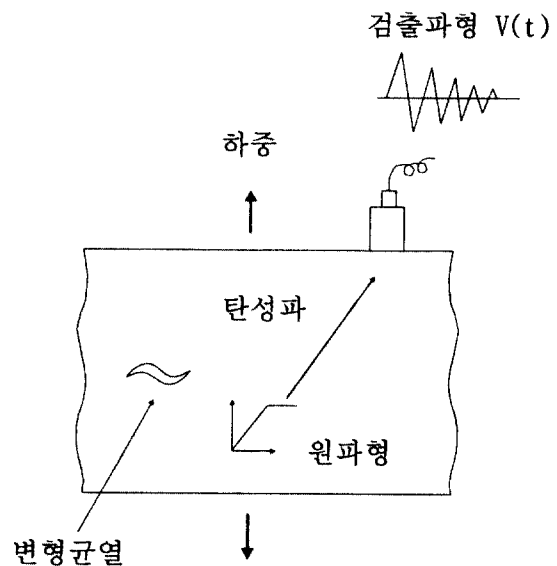


Fig. 14 음향방출법

15. 이후의 과제

재료의 제조기술 발전에 비교해서, 다른 선진국에 비해서, 평가기술, 특히 비파괴평가수법의 연구가 뒤져 있다고 생각된다. 지금까지 논해온 것 같

이 비파괴 평가기법의 확립 없이는 취성적인 신소재의 실용화는 어렵다. 제조기술, 신뢰성평가기술에 직결한 비파괴평가법의 개발이 신소재의 개발, 실용화에 탄력을 줄 가능성이 있으며, 이 분야에서 연구와개발의 진전이 요망된다.

또, 새로운 첨단적인 비파괴검사수법이 여러가지 제안되고 있다. 연구의 방향으로는 (1)결함 검출감도의 향상, (2)결함에 의한 정량적인 평가가 얻어지고 있다. 이것을 정량 비파괴평가(quantitative nondestructive evaluation, QNDE)라 부른다. 이를 위해서는 새로운 계측원리의 탐구 및 이론화가 필요하게 되었다. 더욱이 컴퓨터를 적용하고, 엑스퍼트시스템, 뉴-럴넷, 퍼지 등의 알고리즘을 사용하여 계측 데이터에 대한 여러 가지 파형해석, 잡음 제거처리, 화상처리등을 실시하는 것에 의하여 비파괴평가의 정량화를 발전시켜 가는 것이 꼭 필요할 것이다.