

류 승 우 에네스지(주) 이사 | e-mail : sungwoo.ryu@enesg.co.kr

이 글에서는 현재 산업전반에서 사용되는 주요 비파괴검사 방법의 최신 기술을 중심으로 비파괴검사 현황과 전망에 대해 간략하게 소개하고자 한다.

최근 소재생산, 조선, 항공, 발전 및 화학 플랜트 등 많은 기계 및 구조물의 성능, 안전성을 확보하기 위하여 산업계 각 분야에서 비파괴검사를 수행하고 있다. 재료나 제품에 결함이 없으면 무결함 재료의 기계적 강도시험에 의하여 얻은 자료에 따라서 설계되고 사용되면 된다. 그러나 실제로는 완전무결한 재료는 기대할 수 없으며, 또한 사용/가동 중에 신규로 결함이 발생되므로 이들에 내재하고 있는 결함의 유무와 그 정도 및 변화를 조사하는 비파괴검사가 필수적이라 할 수 있다. 더욱이 최근의 구조물은 점차로 고온, 고압, 고속 등 사용조건이 가혹하고 사용환경도 부식, 방사선, 인화성, 폭발성 등의 위험성이 증가하고 있으므로 구조물의 사고방지를 위한 안정성의 확인이 더욱 중요하게 되었다. 이를 위하여 성능에 악영향을 미치는 결함이 존재하는가의 여부를 비파괴검사에 의해 조사할 필요가 더욱 증대되었다. 현재 많이 사용되고 있는 비파괴검사 기법은 표면부 결함 탐상을 위한 육안검사(VT), 침투탐상검사(PT), 자분탐상검사(MT), 와전류탐상검사(ECT) 등이 사용되며, 내부의 결함 탐상을 위해 방사선투과검사(RT), 초음파탐상검사(UT)가 주로 사용된다. 이러한 검사방법과 더불어 다양한 비파괴검사들이 적용되고 있으나 존재하는 모든 결함을 검출하는 것은 아직 어려움이 있으며, 이러한 한계를 극복하고자 많은 새로운 기술들의 연구

및 개발이 진행되고 있다.

첨단 자동화 초음파탐상

초음파탐상은 초음파 압전소자를 이용하여 발생된 초음파를 재료의 내부에 전달하여 결함에서 반사되는 신호를 분석하여 재료 내부의 결함을 검출하는 방법으로 가장 널리 사용되는 비파괴검사방법의 하나이다. 기존의 초음파탐상은 주로 단일 압전소자를 사용하는 펄스-에코 방식으로 한 지점에서 초음파 파형을 분석하여 국부적인 영역만을 검사 및 평가하게 되므로, 넓은 영역을 평가하기 위해서는 탐촉자를 스캐닝하면서 전체영역에 대해 초음파탐상 및 신호를 검출해야만하는 단점이 있다.

이러한 단점을 보완한 최신 탐상법인 위상배열 초음파탐상(Phased array UT)은 여러 개의 소형 압전소자를 배열하여 각 소자별 발신신호의 시간조절을 통한 위상변화를 이용하여 합성된 파동을 원하는 방향으로 전파, 집속할 수 있다.

이러한 특징을 활용하여 단일 압전소자를 사용하는 일반 초음파탐상으로 검사하기에 어려운 원자력, 화력 발전 부품과 같이 복잡한 형상에 검사, 다양한 각도가 요구되는 검사, 넓은 체적의 검사영역에 대한 검사 등

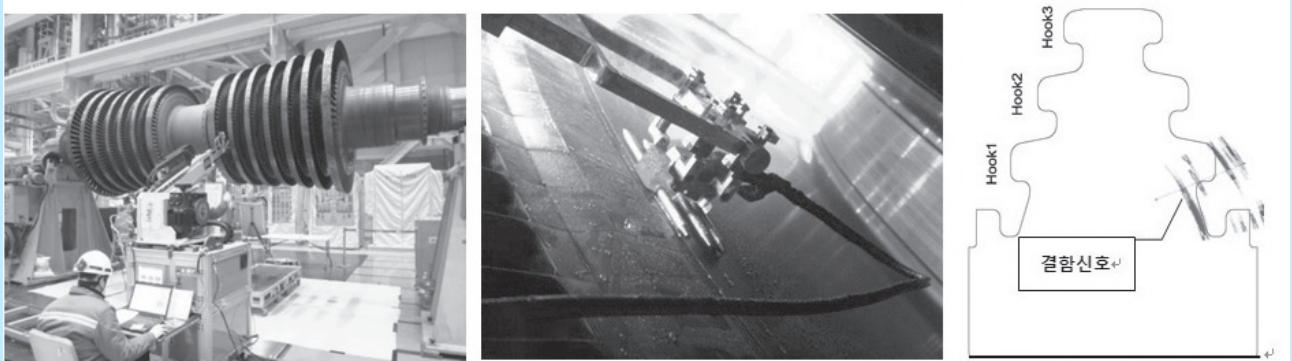


그림 1 터빈 로터 휠 도브테일 위상배열 초음파탐상 및 결함신호(한국, 에네스지)

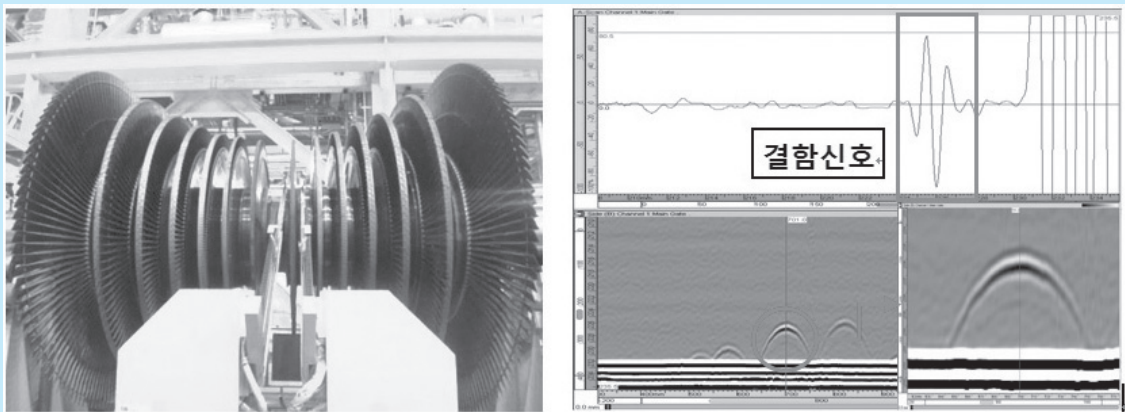


그림 2 터빈 로터 열박음부 비행회절 초음파탐상 및 결함신호(한국, 에네스지)

산업계의 다양한 분야에서 위상배열 초음파탐상이 활용되고 있으며, 새로운 검사 영역 및 기술이 개발되고 있어 향후 초음파 검사기술의 대표적인 분야가 될 것으로 전망된다.

유도 초음파탐상(Guided Wave UT)은 배관과 같은 구조물의 기하학적 구조를 따라 길이 방향으로 전파하는 초음파 진동의 특징을 이용하는 방법으로 배관에 일정한 각도로 초음파를 입사시켜 초음파의 반사, 굴절 및 중첩 등을 통하여 일정한 거리를 지나면서 배관을 따라 진행하는 파가 만들어지는 것을 이용한다. 즉 초음파가 진행되는 동안 용접부, 부식, 균열, 두께 감소 등 배관 결함에서 반사되어 돌아오는 파의 크기, 형태, 특성을 분석하여 배관의 건전성을 진단하는 데 이용할 수 있다. 장점은 단 한 번의 시험으로 센서가 설치된 곳에서 약 100m까지 배관의 진단이 가능하다. 접근이 어려운 매

설 배관이나 석유화학 플랜트 등의 파이프 등의 검사에 사용되며, 적용범위를 넓혀가고 있다.

비행회절초음파(Time of Flight Diffraction)는 결함에서의 회절로 인한 위상변화를 비행시간으로 측정하여 결함을 검출하고 특성화 하는 초음파 기법이다. 회절이란 입사파가 시험체 내부의 균열에 부딪치게 되면 대부분은 반사파가 되어 입사방향으로 되돌아가지만 일부는 결함을 진동시키게 된다. 이때 결함의 각 끝단에서 실린더/구형파를 생성하게 되는데 이를 회절파라고 한다. 최근 고합금 니켈계와 이종 접합되는 부위의 누설사례가 빈번히 보고되고 있으며, 그중 원자로헤드 관통관은 원자로 헤드 내면에 J-그루브 용접형태로 노즐 용접이 이루어진다. 이러한 용접은 심각한 타원형화로 인장응력을 증가시키는 부분에 아주 복잡한 형태의 잔류응력을 발생시키고 이는 원자로냉각재와 원자로 운전조건에 영

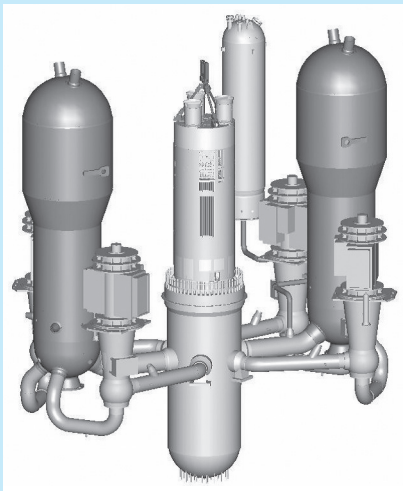
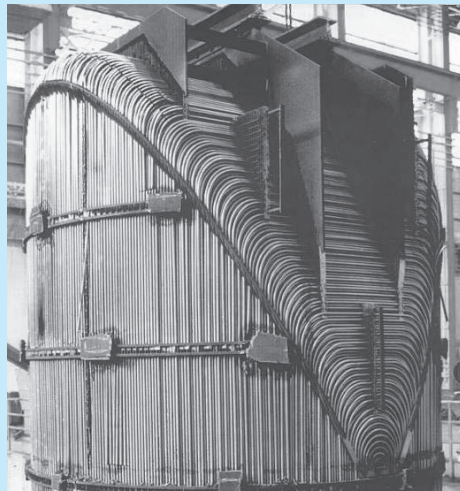


그림 3 원자력 발전소 및 증기 발생기 튜브 형상



등의 영향에 의해서 와전류 강도가 변화하는 정도를 이용하여 검사를 하는 방법이 와전류 검사법이다. 자동 및 고속으로 검사가 가능한 장점으로 사용되는 범위가 점차 넓어지고 있으며, 자성특성에 의해 강자성체에 검사가 어려운 점이 있으나, 펄스와전류법, 원격와전류법 등의 새로운 와전류 검사 기술 등이 개발됨으로써 검사 영역이 점차 넓어질 것으로 전망된다.

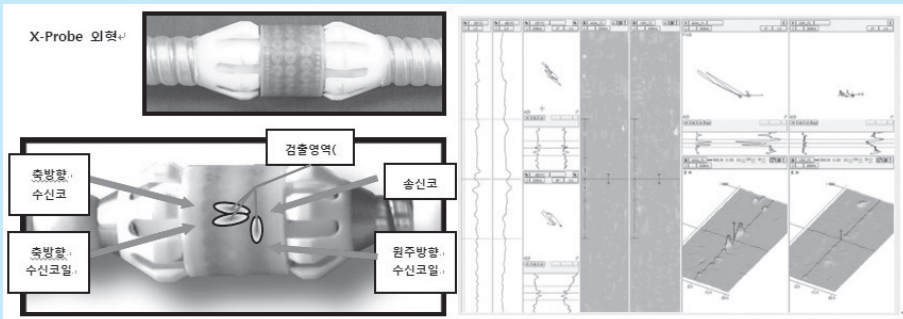


그림 4 증기 발생기의 와전류탐상 결함신호

향을 받아 응력부식균열이 발생하고 있으며, 형상적으로 매우 난해한 영역에서 활용되고 있는 검사방법이다.

전자기적 탐상법

전자기적 특성을 이용한 비파괴검사 방법으로 대표적인 검사방법으로는 미세한 자분(Magnetic Particle)을 이용하여 표면의 결함을 찾는 자분탐상검사가 사용되고 있다. 그러나 이 방법은 정량적 평가나 자동검사가 불가능하여 이를 대체하고자 하는 여러 검사방법들이 적용되고 있다. 교류가 흐르는 코일을 시험체 가까이 접근시키면 코일에 흐르는 전류는 시험체 표면 부근에서 와전류를 만들고 순차적으로 상호유도작용에 의해서 코일에 흐르는 전류는 영향을 받는다. 시험체의 결함이나 재질

자분탐상 검사를 대체하는 또 다른 방법의 하나로 자분탐상법의 자분을 이용하는 대신 자기 센서를 사용하여 직접 자속 누설을 이용하여 결함을 검지하는 비파괴 검사법이 누설 자속탐상법이다. 누설 자속을 검출하는 센서로는 서치 코일, 홀 소자, 홀 IC, 자기 저항 효과 소자, 자기 다이오드 등이 사용된다. 자분탐상의 단점인 정량적 평가 및 자동화의 어려움을 해결하고자 하는 방법으로 적용되고 있으며, 검출능 및 분해능 향상에 대한 연구가 계속되고 있어 강자성체 배관 검사 등에서의 적용이 확대될 것으로 전망되고 있다.

방사선 투과 검사

방사선 투과 검사는 X-선, γ -선 등의 방사선을 이용하여 재료의 내부 결함을 투과한 후 필름에 감광되는 농도를 평가하여 결함의 유무, 정도를 검사하는 방법이다. 최근 방사선 관리에 대한 규제 강화로 인해 방사선 검사 조건이 까다로워짐으로써 방사선 검사 빈도가 낮아지는 추세에 있고, 위상배열 초음파탐상이 이에 대체되는 경

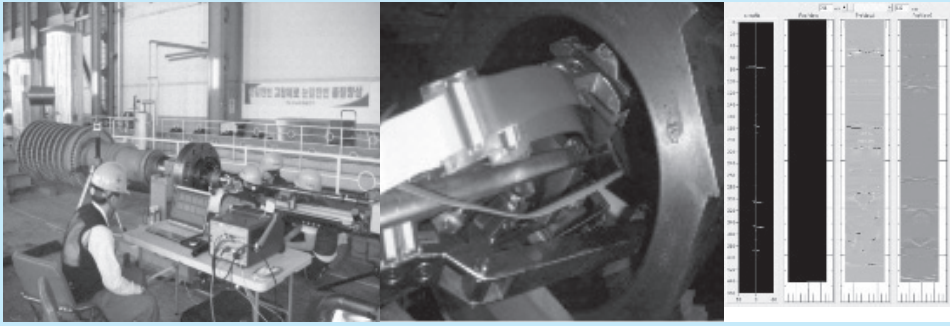


그림 5 터빈 로터 중심공검사용 자기 센서 및 결함신호(한국, 에네스지)

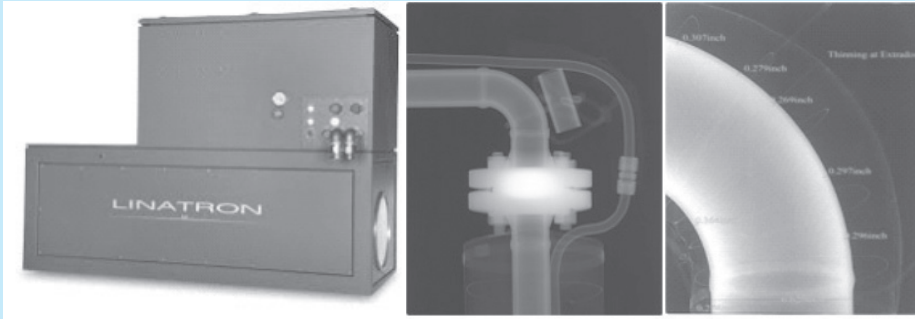


그림 6 방사선투과검사장치와 CR(Computed Radiography) 필름 형상(Varian사,미국)

향이 있으며 점차 일반적인 방사선 검사는 줄어들어 초음파 검사로 대체되고 라인생산 공정 등에서 실시간 방사선 등의 검사가 대표될 것으로 예상된다. 기존 방사선 검사는 필름을 이용하기 때문에 수동검사에 의해 수행되고 필름 현상, 판독에 필요한 시간으로 인해 많은 검사 시간이 소요되는 단점이 있다. 이러한 점을 개선하여 필름대신 CCD소자를 사용하여 디지털화 하여 실시간으로 방사선 영상을 확인함으로써 검사와 동시에 결함 유무 판별이 가능하게 된다. 라인 생산과 같이 제품의 제작 과정 중에 건전성 평가 등과 같은 곳에서 사용되고 있다. 또한 화학플랜트 등의 배관이 보온재를 제거하지 않고 실시간으로 검사 가능하기 때문에 이러한 영역에서도 사용되고 있다.

비파괴 재질열화 검사

재질열화의 비파괴적인 평가법은 금속조직의 변화나

이에 따른 물리화학적인 성질의 변화를 이용한다. 금속조직적인 방법은 손상을 직접 검출할 수 있는 장점이 있지만 대부분의 경우 설비에서 직접 현미경으로 조직 관찰이 어려우므로 간접방법인 표면복제법이 많이 이용된다. 물리적 성질 측정법으로는 경도법과 전기화학적 측정법이 실용화되어 있고, 초음파법에 대한 연구가 진행되고 있다.

위의 여러 검사법에 의해서도 다양한 비파괴 검사법이 적용 또는 연구 개발되고 있다. 적외선 열영상을 이용한 적외선 열

화상법, 레이저를 이용한 비접촉 초음파법, 전자기장을 이용한 전자기 초음파탐촉자(EMAT) 비접촉 초음파법, 후방산란 초음파법 등 다양한 방법들이 사용되고 있다.

이상과 같이 비파괴검사방법의 기술현황을 전반적으로 고찰해 보았다. 근래 더욱더 중요시 되는 산업전반의 안전관리 및 제품들의 품질관리를 위해서 비파괴시험은 필수적이라 하겠다. 비파괴검사는 여러 물리적 원리를 기반으로 한 다양한 기법과 최근 전기, 전자 및 컴퓨터 기술의 발전과 함께 장비 분야에서도 획기적인 성능 향상이 이루어지고 있다. 이러한 기술의 발전은 기존 검출이 어려웠던 결함의 검출능 향상으로 이어지고 있으며, IT(정보기술)와 무선통신기술의 발전과 함께 원격 모니터링 기술과 같은 새로운 비파괴분야가 발전하고 있다. 아직 결함검출에 한계가 존재하고 있으나 현재 진행 중인 여러 비파괴 기술들의 발전으로 더욱 작은 결함의 검출, 정확한 결함형상 및 재료변화의 측정 등이 가능함으로써 비파괴검사가 재료 및 구조물의 안전성 평가에 기여할 것으로 전망된다.