

산업설비의 건전성(안전성) 평가를 위한 기술 제안  
-계장화압입시험법-



Prepared by

3rd Floor, Research Institute of Advanced Materials  
Seoul National University  
Seoul 151-742, Korea  
TEL: 82-2-884-8025 / FAX: 82-2-875-8018  
www.frontics.com

산업설비의 건전성(안전성) 평가를 위한 기술 제안

주요 Keyword:

건전성 평가, 수명 평가, 가동 중 시험, 인장물성 시험, 잔류응력 시험, 연속압입 시험,  
비파괴 시험, 열화도 평가, 경년 열화, 주기적 검사

계장화 압입 시험법 및 시험기

계장화 압입시험법 및 측정시험기는 발전, 가스, 철도시설물과 관련된 구조물이 오랜기간 사용되어짐과 동시에 외부에 충격 및 사고로 인해 발생될 수 있는 피해를 예측하기 위한 구조물의 수명 평가 및 안전성 평가에 적용할 수 있다. 또한 기존 파괴적인 측정방법과는 다르게 실제 산업 구조물을 파괴하지 않고 비파괴적인 방법으로 건전성 평가에 사용할 수 있습니다. 특히, 산업설비의 신뢰성에 문제 제시될 수 있는 재료의 잔류응력 및 인장물성을 평가하는 것에 기반을 두고 있다. 측정 방법은 연속적으로 가해지는 하중에 대한 변위값을 실시간으로 측정하여 이렇게 얻어진 압입하중-변위곡선을 분석컴퓨터에 설치된 소프트웨어를 통하여 현장에서 즉시 잔류응력 및 인장물성을 평가할 수 있다.

즉, 압입시험은 비파괴적인 방법을 기초로 하여 실험실뿐 아니라 현장에서도 사용이 가능하다. 압입 깊이는 100~200um정도로서 시험 후에도 시험 대상인 산업설비에는 문제가 없이 계속 사용(가동)이 가능하다.

장비는 산업현장에서 사용할 수 있도록 설계되었으며 가볍고 작은 크기로 휴대가 가능하며 동시에 기존에 다른 방식에 비해 재현성이 있고 보다 정확한 값의 측정이 가능하다. 또한, 시험 직후 즉시 결과를 확인할 수 있으며, 현장에서 빠르고 간편한 실험을 위하여 기기와 컴퓨터간의 무선 통신이 되며, 전원 공급이 어려운 상황에서 실험이 가능하도록 휴대용 배터리도 사용이 가능하다. 본 시험법은 이미 KS B0950, KS B0951, 신제품인증(NEP)등을 획득하여 시험법에 대한 검증은 마친 상태이며 현재 국제표준인 ISO코드 작업과 국내 전력산업기술기준인 KEPIC 코드 작업을 진행 중에 있다. 계장화 압입 시험법은 국내에서는 최초로 개발되어 많은 국책연구기관 및 산업분야에

보급이 되어 신뢰성평가가 보편화 되고 있으며, 국제적으로도 최고의 기술을 가지고 있으며, 정유, 가스, 전력분야의 최고 파트너(ExxonMobile, GE, TWI)들과 기술을 공유하여 연구하고 있다. 또한 상기 관련한 기술을 국제적인 기술표준으로 만들고자 노력하고 있습니다.

## 산업설비의 건전성(안전성) 평가를 위한 기술 제안

발전소, 정유시설, 가스 및 압력용기 등의 기관의 주요설비는 수많은 배관들로 용접되어 설치되어 있는데, 이들 배관들은 고온의 화염, 증기들과 접촉되어 가동되고 있다. 배관의 주요 손상원인은 고온에 의한 재료의 열화에 따른 손상과 취약부인 용접손상이 주류를 이루고 있어 발전소 유지보수업무 중에서 주요관심분야이다. 또한 최근 대두되고 있는 신재 불량 문제와 가동 중 설비에 대한 주기적 검사 방법도 많은 관심을 받고 있는 부분이다.

특히 용접 시의 열적 처리과정을 통해 발생하는 용접 잔류응력은 설비 구조물의 파괴를 유발할 수 있는 중요한 영향인자이므로, 설비 건설 시 및 운용 중 정량적인 평가를 통한 관리가 필수적이다. 신재의 도입이 이루어 질 때에는 함께 들어오는 서류와 동일한 결과를 나타내는지 알 수 있는 방법이 없어 시공 후 문제가 발생하는 경우가 많으며, 가동 중인 설비에 대한 기계적인 시험을 통한 수명평가가 아닌 화학적이거나 경험적인 시험법을 통하여 평가가 이루어지고 있다. 정확한 평가를 위해서는 기계적인 시험법이 필요한 상태이다.

하지만 사용 중인 설비의 재료 적합성과 용접의 적정성을 평가하기 위해서는 크리프시험, 기계적 강도시험, 잔류응력시험 등 각종 파괴적인 시험법을 실시해야 하는 문제점이 있으므로, 현장에서의 활용가능성이 떨어져 이를 대체하고자 경도 및 조직복제시험과 같은 방법을 적용하고 있으나 이런 시험법들은 비교적 정확도가 낮고, 엔지니어링 자료로 활용할 수 없다는 것이 가장 큰 문제점으로 되어 왔다. 또한 실제로 파괴적 표준 시험법인 인장시험이나 파괴시험법 등을 용접부에 적용할 때에도 다음과 같은 어려움이 존재한다. 첫째, 표준화된 시편 형상을 만들기 어렵다. 대체로 용접부의 형태는 불특정하며, 곡률을 갖고 있는 경우가 대부분이다. 시편을 채취하기 위해 용접부를 가공할 경우, 가공하는 과정에서 강도 특성이 변화가 올 가능성이 높기 때문에 시편 채취가 어렵다. 둘째, 불균질한 미세조직으로 인하여 시편 채취 위치에 따라 강도 특성이 달라진다. 또한 파괴시험의 경우에는 노치의 위치가 조금만 달라지더라도 파괴인성 값이 매우 달라질 수 있다. 따라서 시편 채취의 제한이 적으며, 국소 부위의 강도 특성과 잔류응력 효과를 정확히 평가할 수 있는 시험법으로 용접부 건전성을 평가하는 기법 개발이 필요하다.

효율적으로 현장 발전설비 구조물의 잔류응력, 인장물성, 파괴인성을 평가하는 비파괴적인 시험법으로서 연속 압입 시험법이 제안된다. 최근 들어 압입 시험법은 단순한 경도값 평가가 아니라 연속 압입시험을 통한 변형곡선을 구하고, 이를 분석하여 다양한 기계적 물성 측정법으로 발전하고 있다. 연속압입시험법은 압입하중에 따른 압입깊이의 연속적인 측정을 통하여 압입하중-변위곡선을 제공한다. 이 곡선을 분석함으로써 유동특성, 파괴특성 그리고 잔류응력을 평가할 수 있다. 또한 최대 수백 마이크로미터 이내의 좁은 영역을 평가하므로 용접부와 같은 국부적인 물성변화가 존재하는 재료에 대해서도 그 변화 양상을 평가할 수 있다. 또한 시험한 재료에 매우 작은 압흔만을 남기기 때문에 비파괴적인 시험법이기도 하다.

## 기대 효과

발전설비와 정유설비는 고온과 고압의 환경에서 운전됨으로 결함 발생 가능성이 높으며, 이에 따른 사고 발생시에는 국내 산업전반에 미치는 파급 여파가 크고, 많은 경제적 손실도 뒤따르게 된다. 따라서 사용 중인 설비의 신뢰성 평가는 그 중요성이 더해지고 있으며, 이를 통해 얻을 수 있는 경제적 효과도 크게 증가하고 있다. 그리고 산업설비의 안전한 사용을 위한 재료의 신뢰성 유지 문제, 즉 재료의 열화도에 대한 정확한 평가는 설비 가동의 효율성을 매우 증대시키므로 경제에 미치는 긍정적 영향이 매우 크다고 할 수 있다. 특히 기존의 역학시험법들을 이용할 경우에는 적합한 형태의 시편을 채취하기가 곤란하고 시험방법이 파괴적이므로 시험에 소요되는 시간과 비용이 많이 들어간다는 단점을 가지고 있다. 이에 반해, 자동화 압입시험법은 특성상 용접부 등의 시편수급이 곤란한 국부 영역의 기계적 성질, 파괴인성 및 잔류응력의 평가에 유리하고, 가혹한 환경 하에서의 사용시간 증가로 인한 재료열화에 따른 재료물성치의 변화를 연속적으로 측정하기에 매우 적합하다. 또한 긴 시험시간이 필요하지 않으므로 기존의 시험법들에 비해 시간 및 비용의 절감을 꾀할 수 있다. 또한 재료의 잔여수명 예측에 이은 신뢰성 평가에 있어서 중요한 강도 특성, 경도 등 재료물성치의 변화에 대한 데이터베이스를 구축하는데 있어서 자동화 압입시험법은 매우 유용하게 이용될 수 있다. 이러한 데이터베이스의 구축은 사용 중인 재료의 신뢰성에 대한 기준을 제공하고 수리·교환시기의 적절한 선택을 가능하게 하여, 엄청난 물적·인적 피해를 일으키는 재료의 파괴를 미연에 방지하는데 큰 도움을 준다.