

Doc. No.: FR-KR-100524-001

계장화압입시험법을 통한 잔류응력 평가방법

Prepared by



<본사> 서울시 금천구 가산동 481-4 벽산디지털밸리6차 407호
<부설연구소> 서울시 관악구 신림동 서울대학교 신소재공동연구소 313호

TEL: 82-2-884-8025 / FAX: 82-2-875-8018

www.frontics.com

계장화 압입 시험법을 이용한 잔류응력 측정 방법

1. 잔류응력의 기본 개념

잔류응력은 인장강도와 같은 재료의 물성이 아닌 인자로 분류된다. 재료의 물성과 인자는 동시에 존재하지만, 이들은 상호 직접적인 영향을 주지 못한다. 즉, 재료의 물성 중 하나인 강도가 낮아진다고 하여 잔류응력이 증가 또는 감소되는 현상은 나타나지 않고, 반대로 잔류응력의 변화로 인하여 물성의 변화도 일어나지 않게 된다.

이러한 잔류응력은 재료 내부에 존재하는 것으로서, 가공이나 열영향 등의 재료 내부적인 변화가 일어날 때 발생하게 된다. 파이프를 예로 들면, 용접부와 같이 재료가 열에 의해 변형된 부위나 직접적인 열을 받는 부위, 또는 기본 형상을 변형할 때 그 부위에 잔류응력이 발생하게 된다.

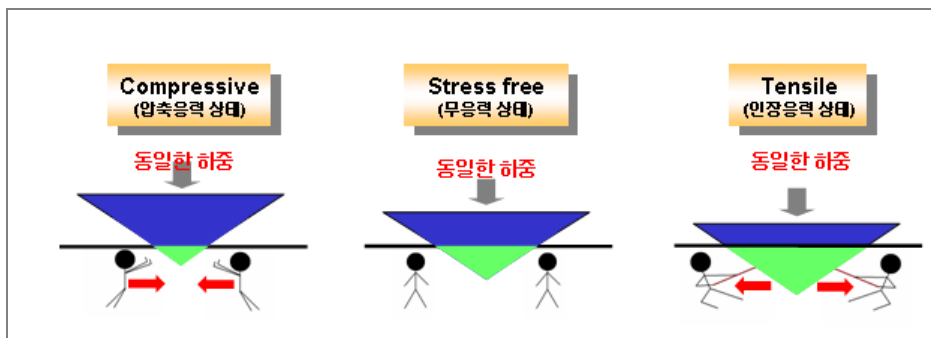
2. 잔류응력의 위험성

잔류응력은 크게 압축 잔류응력과 인장 잔류응력으로 구분된다. 이 중, 압축 잔류응력이 발생하였다면 위험성에서는 아무런 문제가 없으며, 그 반대인 인장 잔류응력이 발생하게 되면 그 크기에 따른 위험성을 판단하여야 한다. 모든 소재가 압축 잔류응력으로 존재하면 이상적이지만, 한 부분에서 압축잔류응력이 존재하게 되면 특정 부위에서는 그 반대인 인장 잔류응력이 존재하게 된다.

이러한 잔류응력이 자주 발생되는 부위가 용접부와 높은 온도의 열을 직접적으로 받는 곳이다. 파이프 용접을 하기 위해 예열과 후열처리 과정이 진행하게 되는데, 이러한 열처리 과정이 바로 잔류응력을 제거하기 위해서이다. 하지만, 현재의 시험방법으로는 정확한 잔류응력을 평가할 수 없었기에 경험적인 방법으로 열처리 조건이 정해졌고, 그에 따라 수행하는 문제점을 가지고 있었다.

3. 계장화 압입 시험법을 이용한 잔류응력 측정 방법 - KS B0951

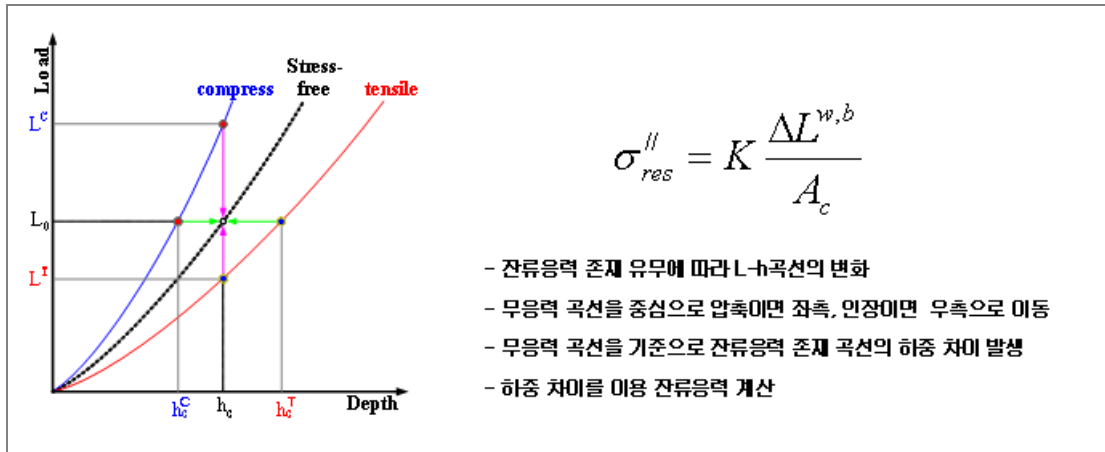
계장화 압입 시험법을 이용한 잔류응력 측정 방법은 아래 그림과 같다.



시험 대상에 동일한 하중으로 압입을 진행하게 될 경우, 잔류응력의 존재에 따라 그 압입 깊이는 변화하게 된다. 압축 잔류응력이 존재하게 되면 압입 깊이가 작아지고, 인장 잔류응

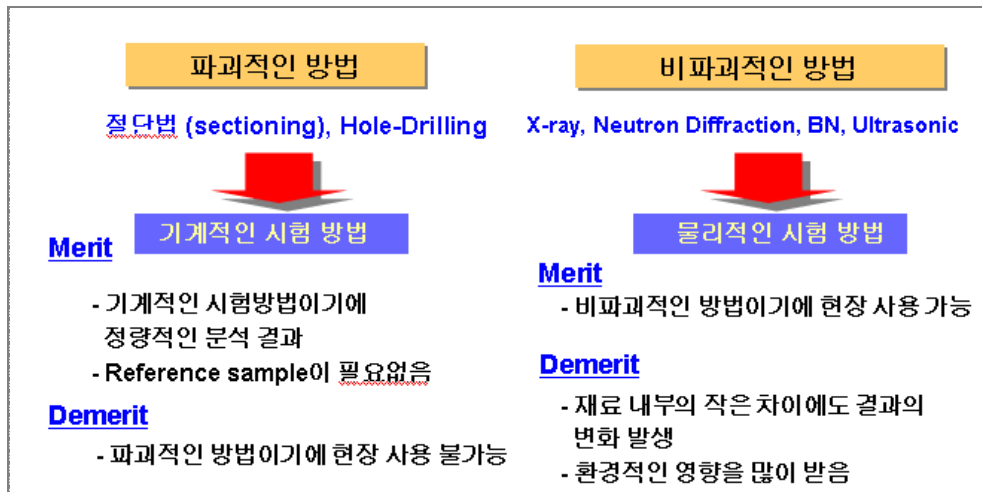
력이 존재하게 되면 압입 깊이가 커지게 된다.

이러한 기본 개념을 도입하여 압입 하중과 변위를 동시에 수집하여 잔류응력이 존재하지 않는 상태의 곡선과 비교하여 아래 그림과 같이 최종 잔류응력을 평가할 수 있게 된다. 잔류응력이 존재하지 않는 무응력 상태(Stress-free)와 잔류응력이 존재하는 상태(compress or tensile)의 곡선을 가지고 특정한 변위(hc)에서의 하중차(ΔL)를 응력 계산하는 기본 수식에 넣어 최종 잔류응력을 계산한다.



4. 계장화 압입 시험법의 도입 배경

계장화 압입 시험법은 기존의 잔류응력 측정 방법의 단점을 보완하고 장점을 살리기 위하여 도입되었다.

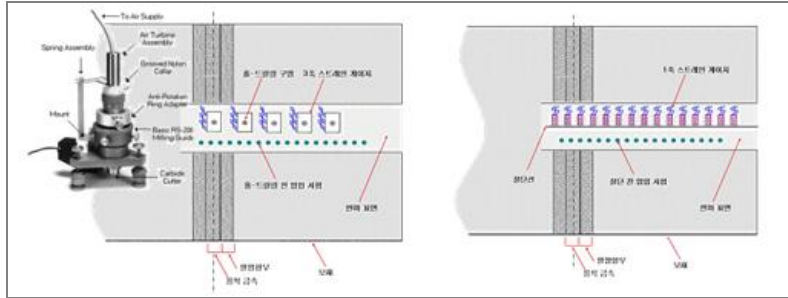


파괴적인 잔류응력 측정방법은 기계적인 시험방법이기에 그 값이 정량적으로 나오지만, 실험실에서만 가능하고 실제 사용대상에 적용하기는 힘든 상태이다. 그와 반대로 비파괴적인 방법은 현장 적용이 가능하나, 재료 내부의 작은 요소나 주변 환경(온도, 습도, 진동, 자기장 등)과 분석을 진행하는 운용자의 능력에 따라 그 결과값이 크게 차이 나게 된다. 이러한 두 가지의 단점을 보완하여 비파괴적이며 기계적인 시험을 필요하기에 이 시험법이 도입되었다.

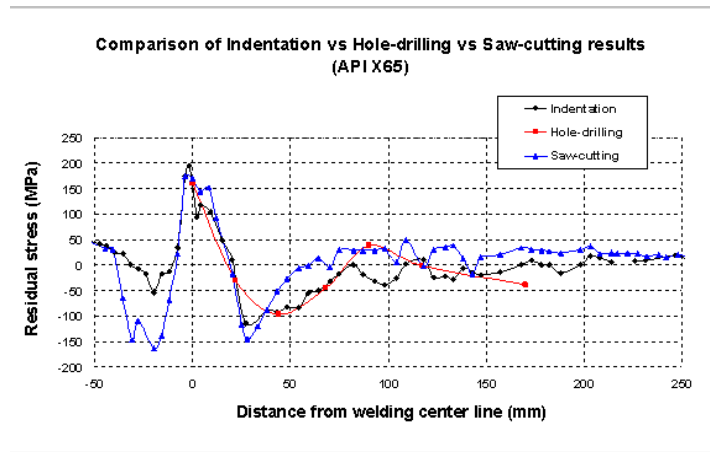
5. 적용 사례

(1) KS 규격(KS B0951) 제정을 위한 파괴 시험법과의 비교 시험

- 소재: API x65
- 비교 시험법: 절단법(sectioning), Holl-drilling법

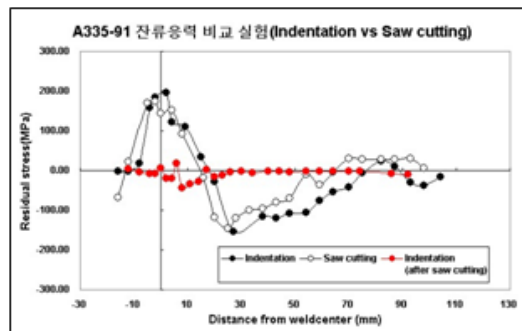
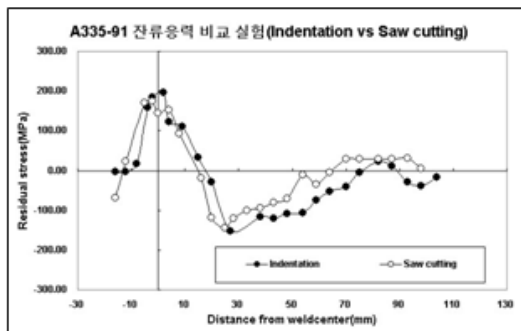


- 시험 결과



(2) 발전 설비 사용 pipe의 응력 제거 전후 시험 결과

- 시험 대상: A335 P91
- 시험 방법: 절단법과 동시 수행
응력이 제거된 상태에서 압입시험법을 통한 잔류응력 평가
- 시험 결과



붉은 점은 응력이 제거된 상태(절단법이 시행된 후)에서 잔류응력을 평가한 것으로 응력이 없는 상태를 확인할 수 있다.

(3) ExxonMobil의 용접부 잔류응력 평가

- 시험 대상: API x80
- 시험 방법: X-ray diffraction과 비교 시험
- 시험 위치 및 정보



Fig. Double sided weldment

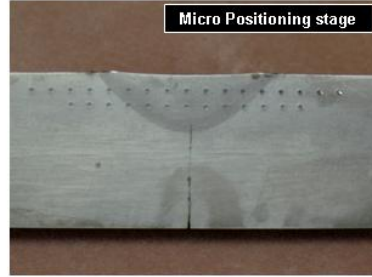
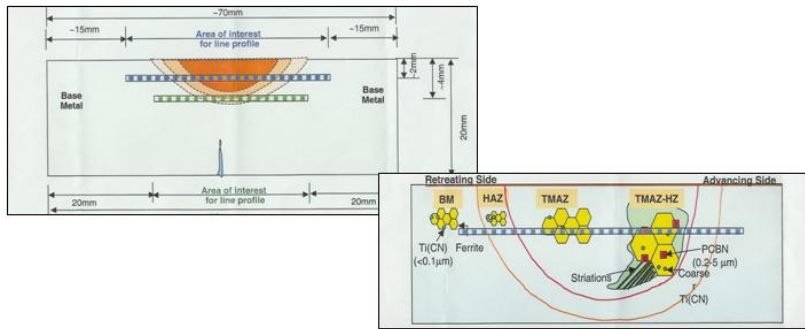
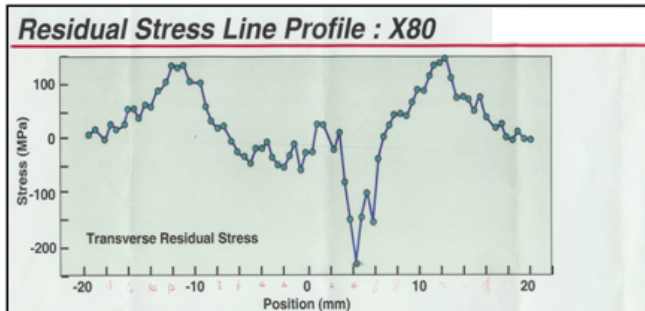


Fig. Single sided weldment

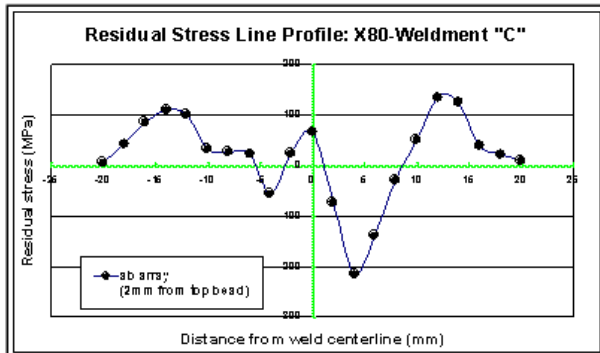


- 시험 결과



X-ray Diffraction

Max tensile residual stress:
150MPa
Max. compressive residua stress
230MPa



Instrumented Indentation

Max tensile residual stress:
136MPa
Max. compressive residua stress
215MPa

Testing machines

- : X-ray diffraction
- : Indentation - Indentation tester

그림의 위쪽이 X-ray diffraction 결과이고, 아래 그림이 압입시험법을 이용한 시험 결과이

다. 두 시험 결과의 최대 인장잔류응력과 압축잔류응력이 유사하게 나옴을 알 수 있다. 하지만, 차이점이라면 X-ray diffraction 시험은 그 시험 시간이 일주일 이상 필요하고, 압입시험법은 1/10 수준이 수시간만이 필요하다. 이 시험 결과는 2005년 MTS에 발표된 결과이다.