

후판 강용접부의 신뢰성 평가

Evaluation of Reliability for Welded thick steel joint

최 원 두*, 이 영 호**, 길 두 송***, 박 상 기***

* 충남대학교 대학원 기계공학과

** 충남대학교 기계공학과

*** 전력연구원

ABSTRACT Reliability evaluation of the welded structure for industrial structures/facilities such as power plant and petro-chemical refinery facilities is very important, and especially the reliability diagnosis of the structure is based on the exact evaluation of materials properties. But, the conventional Pre-Qualification test had the difficulty of evaluating the real material properties in the field because the test was made on the specimen with the simulated welding for the in-field welding condition. Therefore, a continuous indentation technique was proposed for simple and non-destructive testing of in-field structures and for selective testing of local range such as heat affected zone and weldment.

1. 서 론

다양한 공학적 경험을 반영한 재료기술과 건축 기술이 발달한 지금도 용접부는 대형 강 용접 구조물/설비의 건전성을 확보하기 위해서 가장 주의를 기울여야 하는 평가 대상 부위이다. 현재의 국내외 제강 기술의 수준으로 보아서도 모재의 기계적 성질보다 용접부의 기계적 성질을 적절하고도 합리적으로 평가하는 것이 훨씬 더 중요하다. 이러한 기계적 성질 중에서도 가장 널리 활용되는 일축 인장시험(uniaxial tensile test)의 결과는 재료의 탄성 및 소성 성질 전반에 관한 자세한 정보를 제공해 주므로 설비/구조물의 역학적 안전성을 평가하기 위한 연구에는 필수적으로 인장시험이 수행되고 있다.¹⁾ 따라서 현장설비의 주요 용접부위에는 각 용접조건에 대한 인장성질을 표기한 PQR (Pre-Qualification Record)이 작성되어 제출된다. 하지만 PQR은 현장 용접조건을 재현한 한 가지 시험편에 대하여 실험실적으로 수행한 결과를 기록한 것이기에 현

장 용접부의 각 구속조건 및 제작환경에 따른 물성 변화를 반영하기에는 한계가 있다. 그러므로 현장에서 비파괴적으로 용접부의 인장물성을 평가할 수 있다면 발전설비의 건전성 평가에 있어서의 정확도 향상에 크게 기여할 수 있어, 고차원의 설비 신뢰성 확보가 가능해 질 것으로 예상된다.²⁾

이와 같이 현장에서 비파괴적으로 인장물성을 평가하기 위한 노력의 일환으로써, 최근에는 소재에 압입하중을 다중 인가 및 제거(multiple loading and unloading)하고 압입하중에 따른 압입깊이의 변화를 계장화 장치를 이용하여 연속적으로 측정, 그 결과를 해석하여 최종적으로 인장물성을 포함한 기계적 성질을 평가하는 연속 압입시험법(continuous indentation test)이 개발되어 활발히 연구되고 있다.³⁾ 이에, 본 연구에서는 Frontics 사가 개발한 연속압입시험 시스템인 Advanced Indentation System (이하 AIS)을 활용하여 건설 중인 태안 화력발전소 6호기의 주요 배관 용접부에 대하여 PQ 시험을 수행하였다.

2. 장 실험

2.1 시편

본 실험에 사용된 시편은 사용 환경이 열악한 발전소의 배관용 재료로서 기계적 성질은 Table 1과 같다. 이 재료들은 표준 석탄화력발전소의 고온, 고압배관 재료로 많이 사용되고 있는데 사용 위치에 따라 다음과 같이 구분된다. Hot reheater(A334-P91), Cold reheater (A335-P12) 배관은 고온 배관용 페라이트(Ferrite)계 합금강관이고, Main steam(A106-C) 배관은 고온용 탄소강관으로 이루어져 있다.

Table 1 Mechanical properties

Material	Yield strength (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)
A335-P91	min 415	min 585
A335-P12	min 220	min 415
A106-C	min 275	min 485

2.2 시험조건

시험 대상인 파이프의 표면을 사포를 이용하여 연마하고, 연마된 표면 위에 부착식 자동화 압입 시험기를 시험할 파이프에 부착하였다.

시험을 위하여 설정된 조건은 다음과 같다.

- 시험종류: 변위제어유동곡선실험
- 압입속도: 0.3mm/min
- 최대압입깊이: 300 μ m
- 다중압입회수: 15회
- 하중제거율: 50%

3. 장 결과

3.1 Cold reheater line

Cold reheater line pipe에 대한 연속압입시험 결과를 Table 2에 나타내었다. 압입하중-변위곡선 및 유동곡선의 중첩결과 용착금속의 경우 평균 632MPa의 항복강도와 838MPa의 인장강도를 갖고, 모재의 경우 항복강도 평균 477MPa, 인장강도 평균 567MPa를 갖음을 확인할 수 있다. 열

영향부의 경우에는 고유특성인 미세조직의 혼재로 인하여 불균일한 값의 분포를 보이지만, 인장강도는 모두 모재보다 높음을 확인할 수 있다. 이러한 강도 특성은 아래의 압입하중-변위곡선상에서도 잘 나타나고 있다.

Table 2 Result of Indentation test for Cold reheater line pipe

Specimen	Position	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)
Cold reheater line	Welded zone	632	838
	HAZ-1	508	746
	HAZ-2	429	950
	HAZ-3	605	832
	Base metal	477	567

3.2 Hot reheater line

Hot reheater line pipe에 대한 연속압입시험 결과를 Table 3에 나타내었다. Hot reheater line의 경우, 앞서의 cold reheater line 과는 약간 다른 양상을 보이고 있다. 항복강도는 용착금속에서 열영향부, 모재로 갈수록 낮아지는 양상을 보이지만, 인장강도의 경우 용착금속과 모재의 경우 동일한 값을 갖는 것으로 나타났다. 한편 HAZ-1의 경우 용착금속 및 모재의 인장강도 이상의 값을 갖지만, HAZ-3의 경우에는 인장강도가 모재 및 용착금속의 인장강도 이하로 낮아짐을 확인할 수 있다. 이러한 강도 분포는 아래의 압입하중-변위곡선 상의 경향성과도 잘 일치함을 알 수 있다.

Table 3 Result of Indentation test for Hot reheater line pipe

Specimen	Position	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)
Hot reheater line	Welded zone	850	1022
	HAZ-1	808	1131
	HAZ-2	734	992
	HAZ-3	690	951
	Base metal	674	1067

3.3 Main steam line

참고문헌

Main steam line pipe에 대한 연속압입시험 결과를 Table 4에 나타내었다. 항복강도의 경우 hot reheater line 과 동일한 양상을 나타내고 있다. 용착금속, 열영향부, 모재의 순으로 항복 강도가 낮아지고 있음을 확인할 수 있다. 인장강도의 경우에는 용착금속이 1500MPa정도의 높은 값을 갖고, 열영향부의 경우에는 용착금속의 인장강도보다는 낮지만 모재의 인장강도(평균 810MPa) 보다는 높음을 확인할 수 있다. 아래의 압입하중-변위곡선 변화 양상은 이러한 강도 분포의 경향성과 잘 일치하고 있다.

1. RD. Stout : "Weldability of Steel", Forth edition, Welding research council(1987) 104
2. Yamamoto, T. and Kayano, H. : "Nuclear Mater", (1996) 219-227
3. API RP 579: Recommended Practice for Fitness-for-Service, First Edition, American Petroleum Institute, (2000).

Table 4 Result of Indentation test for Main steam line pipe

Specimen	Position	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)
Main steam line	Welded zone	1128	1501
	HAZ-1	927	1175
	HAZ-2	826	1417
	HAZ-3	815	1455
	Base metal	598	810

4. 결 론

본 논문에서는 연속압입시험의 원리를 응용한 비파괴적 인장물성 평가 시스템인 Advanced Indentation System을 활용하여 화력발전소의 주요 배관 용접부에 대해 PQ 시험을 수행한 결과를 소개하였다. 본문에서 나타낸 바와 같이 현장에서 손쉽게 인장물성을 평가할 수 있었으며, 그 결과는 새로운 Pre-qualification test 자료로서 활용될 수 있음을 확인할 수 있었다. 그러므로 본 연속압입시험 시스템을 건설 중인 발전설비의 주요 용접부에 적용할 경우, 기존의 PQR 자료보다 정확도를 높인 현장 물성 자료를 얻을 수 있어 발전설비의 정확한 품질관리와 건전성 확보에 크게 기여할 것으로 예상된다. 또, 최근 국내에서도 구조물/설비의 용접부에 대한 안전성 및 수명 평가에 대한 요구가 급증하고 있는 만큼 운용 중인 발전설비의 사용 적합성(fitness-for-service) 평가 및 수명 예측에도 본 연속압입시험법의 확대 적용이 기대된다.