

티타늄의 초음파거리진폭특성곡선에 관한 연구

A Study on Ultrasonic Distance Amplitude Characteristics Curve of Titanium

*박희동¹, #윤인식², 이원³

*H. D. Park¹, #I. S. Yun(isyun@kinst.ac.kr)², W. Yi³

¹ 숭실대학교 기계공학과, ² 경기공업대학 메카트로닉스과, ³ 숭실대학교 기계공학과

Key words : Velocity, Probe, Angle beam transducer, Reference block, Shear wave

1. 서론

산업계에서 사용 중에 있는 대형 플랜트의 티타늄 배관라인은 고온과 강산 등의 가혹한 환경인 관계로 용접부의 건전성 확보가 반드시 필요한 사항이라 할 수 있다. 그러나 용접공정 중의 여러 가지 변수로 인하여 티타늄 용접부에는 결함이 많이 발생하게 된다. 따라서 용접 후, 용접부에 존재하는 결함을 검출하고 평가하는 것은 플랜트 전체의 건전성 및 안전성 측면에서 대단히 중요하다.

최근 고온 및 고내식성을 요구하는 산업플랜트의 탱크 등에 있어서 외부는 일반 탄소강으로 하고 내부는 티타늄 용접의 조합으로 하는 용도의 사용이 증가하고 있다. 그러나 티타늄 용접부의 특성상 열영향부가 용착금속부와 모재부에 비하여 정도와 충격치가 높다는 점¹과 용접 시, 산소, 질소, 수소와의 친화력이 강하다는 점²을 고려할 경우, 용접결합의 발생가능성이 크다고 할 수 있다.

특히 가동 중에 있는 탱크의 티타늄 용접부는 고온 등의 가혹한 환경에 지배를 받는 관계로 결함 발생과 이로 인한 누수 및 파괴로 이어지게 되면, 플랜트 전체시스템의 안전성에 심각한 문제가 될 수 있다. 따라서 현재 티타늄 용접부에 대하여 제작 후 및 유지, 보수 시에 용접부의 정량적인 평가가 필요하다 할 수 있다. 이러한 용접부에 존재하는 각종 결함을 검출하고 이에 대해 정량적으로 평가하기 위하여 현재 널리 사용되고 있는 방법으로는 방사선 투과³와 초음파 탐상⁴ 등과 같은 정량적 탐상 평가법을 들 수 있다.

이중에서 방사선 투과(γ -ray나 X-ray)에 의한 방법은 비파괴 검사 분야에서 가장 폭넓게 사용되고 있지만, 방사선 피폭에 의한 사용자의 피폭 위험성, 방사선 필름 해독을 위한 현상 및 실시간 결과처리의 불가능 등과 같은 많은 문제점을 내포하고 있다.

그러나 초음파(압전체로 발생시킨 20,000 Hz이상의 음파)에 의한 방법은 건축·화학·화학·원자력 등과 같은 산업 플랜트에서의 건전성 및 안전성 평가방법 중에서 방사선 투과법 다음으로 사용되고 있다. 특히, 초음파법은 인간에게 치명적인 피폭 등의 문제점을 갖고 있는 방사선 투과에 의한 방법을 대체하고, 실시간 결과처리의 강점을 갖고 있어 그 위력을 발휘하고 있다. 따라서 초음파에 의한 티타늄 용접부의 건전성 평가⁵⁻⁶는 안전성 확보를 가능하게 함으로서 플랜트에서의 대형 사고를 미연에 방지할 수 있어 그 중요성이 더욱 높아 가고 있다.

티타늄용접 후에 이루어지는 용접성 평가에 있어서 실시간 결과처리 등의 강점을 갖고 있는 초음파 탐상의 정량화는 대단히 중요하며, 이에 대한 국내 및 국외의 동향을 살펴보면, 맞대기 용접부에 대한 두께와 초음파와의 상관관계로 인하여 아직까지 뚜렷한 관련 규격이나 평가기준이 정해져 있지 않은 상태이다.

따라서 본 연구에서는 티타늄 용접부의 안전성 및 건전성평가를 위하여 용접부의 초음파 탐상평가 기준인 거리진폭특성곡선(DACC)을 고려하여 0.5스킵(skip)에서 1.0skip 초음파진행거리를 스캔(scan)한 결과로부터 플로팅 하여 티타늄거리진폭특성곡선(TDACC)을 구축하고자 하였다.

2. 실험

본 연구에 사용된 주요 기기로는 초음파 신호를 송수신하는 초음파 탐상기(Panametrics사의 EPOCH XT), 결합 신호를 수신하는 횡파 사각 탐촉자(Krautkrämer사의 주파수 4MHz, 굴절각 : 70°, 진동자 크기: 8×9mm), 접촉매질(글리세린) 등이며, 실험에 있어서는 사각 탐촉자의 굴절각, 주파수, 시험편의 두께와 성질 등의 상관관계에 의하여 초음파 탐상기의 CRT상의 화면상에 나타나는 결함 신호의 특성을 파악하고자 하였다. 이를 위하여 Fig. 1과 같은 티타늄 맞대기 용접부에 대하여 목돌림(tilting)을 병행하여 스캔하면서 초음파 탐상기의 CRT상에 나타난 최대 진폭 에코를 기준으로 진폭대 빔진행거리와의 특성을 정량적으로 평가하고자 하였다.

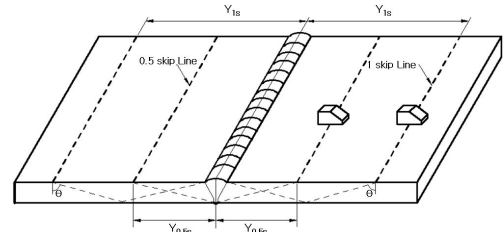


Fig. 1 Schematic of titanium weld zone scan

본 연구에 사용된 티타늄은 일반적으로 많이 사용되는 순 티타늄 Grade 2를 선정하였으며 기계적 성질은 Table 1과 같고, 화학성분은 Table 2와 같다.

Table 1 Mechanical Properties

Item	Minimum values	Typical values
Tensile strength (MPa)	345	485
Yield strength (MPa)	275	350 ~ 450
Elongation in 50mm, A5 (%)	20	28%
Reduction area(%)	30	55
hardness(HV)	-	160 ~ 200
charpy v-notch impact(J)	-	40 ~ 82

Table 2 Chemical compositions(wt.%)

H	O	N	Fe	Ti
0.013	0.20	0.05	0.25	Re

3. 결과 및 고찰

사각 탐촉자를 이용한 초음파결합탐상 시, 가장 중요하게 고려해야 할 사항은 탐상하고자 하는 대상체의 크기 및 재질에 부합되는 기준설정이며, 기준 설정에는 대비 시험편을 사용한다. 대비시험편의 요구특성으로는 초음파빔 진행거리의 변화가 없는 가능한 동일재 또는 유사재에 의한 용접성이 확보되어야 하며, 감도 및 초음파센서의 교정을 한다. 사각에 의한 티타늄 용접부와 초음파의 상관관계를 평가하기 위해서는 대비시험편과 주사하고자 하는 위치에 따라 초음파에코를 분석하는 것이 필요하다.

티타늄 용접부는 현재 산업체에서 가혹한 환경의 지배를 받는 관계로 용접부의 안전성 확보는 대단히 중요하다고 할 수 있으며, 따라서 본 연구에서는 순 티타늄 Grade 2의 용접시험편과 동일한 대비시험편을 제작하여, 초음파탐상에 필요한 기준을 설정하고 티타늄 용접부의 용접결합 평가의 기준이 되는 TDACC를 작성하였다.

TDACC 작성에 있어서는 초음파센서의 굴절각과 티타늄계의 두께, 주사위치 등을 최대한 고려하여 0.5~1.5skip거리를 기준으로 하였다.

주요 설정조건으로는 탐촉자 4.0MHz, 70°를 사용하였으며, 측정범위는 125mm를 기준으로 Fig. 2와 같은 TDACC를 플로팅하였다.

Fig. 2에서 세로축은 초음파에너지(에코강도), 가로축은 초음파 빔의 거리를 나타내는 시간축이고, 화면속의 4개선은 거리진폭특성곡선의 선을 나타낸다. 가로축을 기준으로 S/N비는 불감대 영역에서 높지만, 획득신호와의 차이가 큰 관계로 영향을 주지는 않고 있어, 주사와 목돌림에 의한 최대 에코의 획득에 문제가 없게 나타났다.

초음파에너지축의 가장 높은 값을 나타내는 80%로 시작되는 선이 처음 주사를 하여 $\phi 4 \times 4$ mm의 최대 에코를 획득한 위치이며, 이때의 감도는 45dB로 설정되었다. 이로부터 6dB를 내려서 두 번째 선인 40%에 한 점을 정하고, 다시 6dB를 내려서 20%에 설정하였다.

1.0skip거리에서도 80%로부터 3개의 위치에서 점들을 결정하였으며, 1.5skip거리 내에서 3개의 점을 결정하여 가로축의 8에서 최종적인 TDACC를 작성하였다.

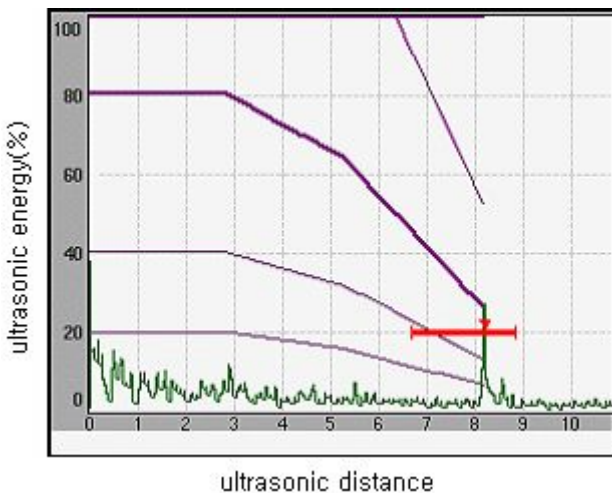


Fig. 2 Titanium TDACC

Fig. 2와 같이 작성한 TDACC로부터 기공결합에 대한 건전성 평가를 하고자 Fig. 3과 같이 용접시험편(순 티타늄 Grade 2, 두께 10mm)을 제작하여, 인공결합을 $\phi 1 \times 3$ 의 크기로 방전 가공하였고, 결합에 대한 실험 결과는 Fig. 4 거리축 2.5와 이에 대한

에코강도 60%를 기공결합 신호로 획득하였다.

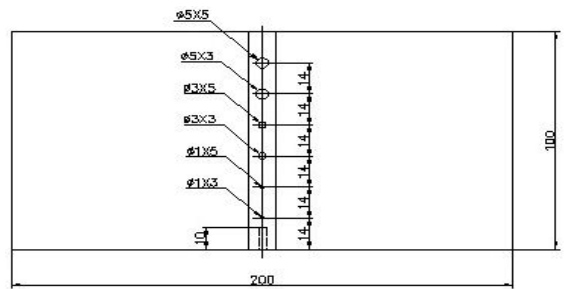


Fig. 3 Titanium welding sample

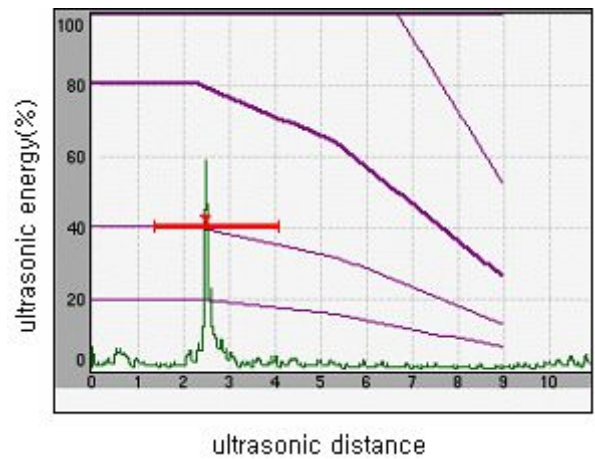


Fig. 4 Ultrasonics signal of titanium welding zone ($\phi 1 \times 3$ mm)

4. 결론

초음파 신호평가로부터 티타늄 용접부에 존재하는 결함을 정량적으로 평가하기 위하여 기준용 TDACC를 제시 하였으며, 티타늄 용접부의 인공결합 $\phi 1 \times 3$ mm에 대하여 TDACC에 의한 감도기준으로부터 주사하여 거리축 2.5의 위치에 결합검출 초음파에코의 레벨로 60%를 제시하였다.

참고문헌

1. 성백섭, 김일수, 김인주, 차영훈, “티타늄계 맞대기 용접부의 개선행상에 따른 잔류응력평가,” 한국정밀공학회 2001년도 춘계학술대회논문집, pp.290~294, 2001.
2. 이용태, 이종형, “티타늄 가공기술,” 청문각, pp.141~151, 2002.
3. Thomas F. Perrone, “Principles of Radiographic Film Interpretation of Pipeline Welds,” Journal of the American Society for Nondestructive Testing, Vol. 50, 11, pp.1268~1273, 1992.
4. 윤인식, 이 원, “산업체 적용을 위한 초음파검사기술 개발에 관한 연구,” 한국정밀공학회지, 제14권 제8호, pp.49~56, 1997.
5. Song, S. J. and Schmerr, L. W., "Ultrasonic Flaw Classification in Weldments Using Probabilistic Neural Networks," Journal of Non-destructive Evaluation, Vol.11, pp.69~77, 1992.
6. 윤인식, 박원규, 정의섭, “초음파센서의 거리진폭특성(DAC)을 이용한 철도레일 용접부의 용접성 평가,” 대한토목학회 논문집, Vol. 22·No. 1-D, pp.113~120, 2002.