

마할라노비스 거리를 이용한 원주 용접부 용접성 평가 A Prediction of Circumferential Welding Quality Using Mahalanobis Distance Method

*김일수¹, #정성명¹, 김지선¹, 나현호¹, 이종표¹

*I. S. Kim¹, #S. M. Jung(jsm1323@nate.com)¹, J. S. Kim¹, H. H. Na¹, J. P. Lee¹

¹목포대학교 기계공학과

Key words : Mahalanobis Distance, Welding Quality, Weldability

1. 서론

대기압 이상의 운전환경에서 기체나 유체에 의해 작동되는 산업설비인 압력용기는 산업설비라는 관점에서 발전분야와 석유화학분야에서 그 용도가 빛을 발하고 있으나 고온, 고압, 고부식 등 까다로운 운전환경에서 견딜 수 있는 압력용기용 강재뿐만 아니라 장기간 운전에 대한 안전성 보증을 위해 용기를 제작하는 용접방법이나 기타 시공법에 대한 신뢰성 확보는 매우 중요한 문제이다.

압력용기 용접부에 요구되는 성능은 곧 압력용기의 신뢰성으로 연결되며, 실제로 압력용기 사용 중 여러 가지 손상사례가 용접부에서 발견되었으며, 산업설비로서의 압력용기는 설계된 수명이 다할 때까지 수십년동안 사고없이 안전하게 사용될 수 있도록 성능이 우수한 강재사용과 더불어 신뢰할 수 있는 용접시공이 뒷받침되어야 한다⁽²⁾.

본 연구에서는 원주 용접부의 GMA(Gas Metal Arc) 용접공정의 품질확보를 위해 용접변형 및 기계적 성질에 미치는 영향을 연구하며, 원주 용접부의 GMA 용접공정에 대한 용접실험을 통한 검증을 실시하였다.

2. 용접 실험

본 연구에서는 압력용기의 최적 용접조건 선정을 위한 시험편의 가공은 휨이나 변형을 방지하기 위하여 프레스를 사용하여 절단한 후 밀링머신으로 맞대기(Butt) 형태의 시험편으로 제작하였다⁽³⁾.

용가재는 모재와 이음부 형상을 고려한 압력용기 제작에 많이 사용되는 $\varnothing 1.2\text{mm}$ 인 AWS ER70S-3를 이용하여 실험을 수행하였다⁽¹⁾. 용접조건은 수동 예비실험을 바탕으로 안정된 비드영역을 도출

하는 공정변수의 범위를 선정하였다.

본 실험은 선박용 압력용기의 제작을 위한 최적 용접조건을 선정하여 입력변수와 출력변수 사이의 상관관계를 분석하는데 목적이 있다. GMA를 이용한 선박용 압력용기의 이상적인 용접성 확보하기 위하여 공정변수는 용접전압, 용접전류, 용접속도 및 갭으로 선정하였고, 응답요소는 비드형상(이면 비드폭, 이면 비드높이)이다. 3개의 공정변수의 실험 레벨(level)과 적용범위는 관련자료 및 WPS(Welding Procedure Specification)를 기준으로 선정하였으며, Table 1에서와 같이 각 공정변수들을 0(low)과 1(high)로 분류하였다.

Full-factorial 실험계획법을 이용하여 L16배열 실험계획을 수립하였으며, 각각의 공정변수를 이용하여 용접실험을 수행한 결과 용접성을 확인하기 위한 2개의 표본을 선정하였다. Table 2에 나타난 No.2는 이면비드 폭이 매우 좁은(2mm 이하)형태로 실패한 용접부를 나타내며, No.9는 이상적인 이면 비드를 형성한 용접부 형상을 나타낸다.

3. 결과 및 고찰

마할라노비스 거리(MD)란 각각의 케이스가 여러 가지 변수(variables), 중심값(평균값, mean)들로 이루어진 중심(centroid)에 대해서 갖는 거리를 말한다. 개념적으로 살펴보면, 다변량(multivariate) 테스트 경우에 각각의 중심값을 중앙에 교차시켜 케이스 값들을 나열해보면 일종의 군집을 이루게 되는데, MD는 특정 케이스의 값이 여기서 심하게 벗어났는가를 보기 위한 거리값을 말한다.

예를 들면 p-차원을 갖는 군집 케이스를 x_1, x_2, \dots, x_n 이라 하면 마할라노비스 거리 MD는 다음과 같이 정의된다.

$$M_d = \{(x_i - \mu)^T C^{-1} (x_i - \mu)\}^{1/2} \quad (1)$$

수식(1)을 통해 계산되어지는 각 케이스의 분포 정보를 이용하여 출력변수의 극한 값을 가려낼 수 있다.

전류전압 측정기를 통해 측정된 No.2와 No.9의 전압과 전류의 데이터를 이용하여 용접부 품질을 확인하였다. 분석된 결과는 Fig. 1에서 나타낸바와 같이 No.2에 비해 No.9에서 일정한 범위의 근집 현상을 확인하였다.

Fig. 2은 시간에 따른 마할라노비스 거리를 분석한 결과로써 실험 No.9 경우 용접 중 근집현상이 조밀하게 형성되는 것을 확인 하였으며, 실험 No.2의 경우 용접 전류 및 전압에 비해 넓은 루트갭의 영향으로 아크의 불안정이 값의 변화에 큰 영향을 작용하였다. 용접이 진행되는 시간에 따른 용접 효율 분석에서 No.2의 경우에 용접품질의 기준선(92%)이하였으며, No.9의 경우에 용접품질이 92.8% 이상으로 Fig.3에서와 같이 나타났으며, 최적조건으로 사용될 수 있는 유효성을 입증하였다.

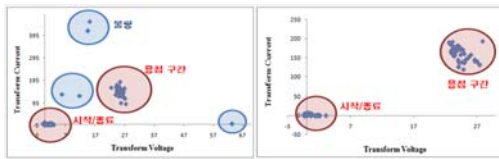


Fig. 1 Comparison of voltage and current for bad / good quality welding

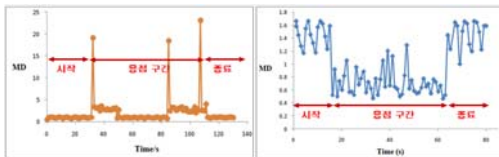


Fig. 2 Comparison of MD(Mahalanobis distance) for bad / good quality welding

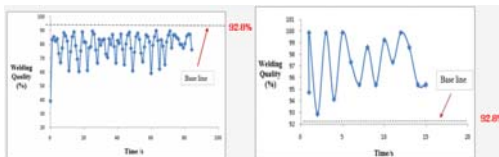


Fig. 3 Comparison of quantified welding quality for bad / good welding

Table 1 Welding Parameters and Levels

Symbol	Process parameter	Levels	
		0	1
V	Arc Voltage (V)	24	26
I	Welding Current (A)	180	220
S	Welding Speed (cm/min)	20	30
G	Gap (mm)	1	3

Table 2 Experiment result for bad / good welding

No.	Bead Geometry	V	I	S	G	Back-bead Width	Back-bead Height
2		180	24	20	3	14.2	1.65
	Current waveform						
	Voltage waveform						
9		220	24	20	1	13.0	1.8
	Current waveform						
	Voltage waveform						

4. 결론

선박용 압력용기에 적용되는 GMA 용접공정의 품질확보를 위해 마할라노비스 거리를 이용하여 용접성 평가를 수행하였다. 용접 전류전압을 통해 용접부의 결함을 예측할 수 있는 알고리즘을 개발하였다.

후기

본 연구는 IT기반 서남권 중형조선산업 지역혁신센터사업으로 수행된 연구 결과임.

참고문헌

1. H. C. Hwang and E. J. Lee : ASME B & PV Code Section VIII Div. 1(2007 Edition), Node Media, 2009, pp.231-294
2. Eugene F. Megyesy : Pressure Vessel Handbook, Gold, 2006, pp.140-163
3. ASME Boiler & Pressure Vessel Code VIII Division 1998