

선체 곡블록 필렛 용접의 적정용접조건 설정 프로그램에 관한 연구

Research on program for determination of suitable welding condition for the curved block.

박주용, 안대호
한국해양대학교 조선해양공학부

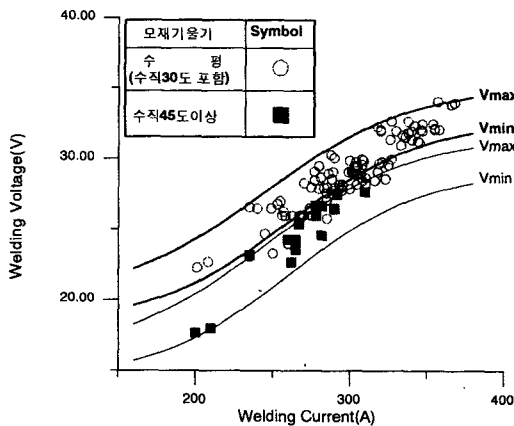
1. 서론

선박의 선수미(船首尾)부분을 차지하고 있는 곡블록(curved block)은 부재의 형상이 복잡한 곡면을 이루고 있고, 용접 될 이음부가 연속적으로 임의의 형태로 변하기 때문에 전적으로 수동작업에 의해 용접 작업이 이루어지고 있다. 본 연구는 곡블록의 필렛 용접에 대해 로봇 또는 전자동 용접 장치를 적용할 수 있도록 적정 용접 조건을 제시하는 전산 프로그램을 개발하는 데에 그 목적이 있다.

2. 주요 용접 변수의 상관관계

2.1 용접 전류와 용접 전압

용접 전류와 용접 전압은 아크 안정성 및 와이어 용융에 관련되며, 비드 형상에 직접적인 영향을 미치는 기본 용접 변수들이다. 수동용접의 경우에는 용접 전류와 용접 전압의 관계를 일차 식으로 대략정한 후, 용접 중 아크 및 기타 상황의 변화에 따라 용접사가 적절히 조절해 나가는 것이 일반적이다. 그러나 정량적인 데이터를 필요로 하는 자동 용접의 경우에는 좀 더 정밀한 데이터의 제시가 요구된다. 많은 용접 실험 결과에 의하면, 솔리드 및 플럭스 코어드 와이어에 의한 CO₂용접의 경우에는 소전류 영역과 대전류 영역에서는 전류의 변화에 따른 전압의 변화가 비교적 크지 않으나 증전류 영역에서는 그 변화가 비교적 크게 나타나는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 조선소에서 널리 사용되는 직경 1.4mm 플럭스 코어드 와이어에 대해서 실험한 결과로 Fig. 2.1과 같은 영역을 얻을 수 있었으며, 이 데이터의 회귀분석을 통해서 식(2.1)~식(2.4)을 얻을 수 있었다.



① 수직 경사각 30도 이하

$$V_{max} = \frac{20.01 - 35.26}{(1 + e^{(I-244.63)/47.964})} + 35.26 \quad (2.1)$$

$$V_{min} = \frac{18.19 - 32.801}{(1 + e^{(I-259.6)/44.816})} + 32.801 \quad (2.2)$$

② 수직 경사각 45도 이상

$$V_{max} = \frac{16.011 - 31.72}{(1 + e^{(I-244.63)/47.964})} + 31.72 \quad (2.3)$$

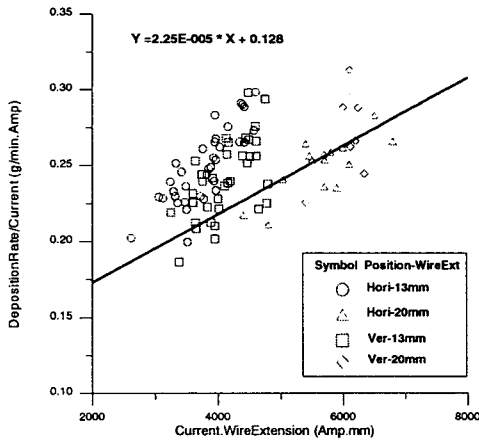
$$V_{min} = \frac{14.19 - 29.30}{(1 + e^{(I-259.6)/44.816})} + 29.30 \quad (2.4)$$

Fig. 2.1 Relationship between welding current and welding voltage

2.2 용접 전류와 용착 속도

용착 속도(deposition rate)는 와이어가 용융되어 이음부에 쌓이는 속도로써 용접 비드의 크기 및

형상에 관련되는 인자이다. 와이어 용착량은 와이어 용융량에서 스패터로 인한 손실을 뺀 양으로 적절한 용접 조건 하에서는 용착 속도는 용융 속도에 비례한다. 다른 변수들이 일정할 때 용접 전류는 전극 송급 속도와 용융 속도(melting rate)와 함께 비선형적으로 변한다. 전극 송급 속도가 변하면 정전압 전원을 사용할 경우 마찬가지로 용접 전류의 크기도 변하게 된다. 이러한 상관관계는 각 전극 직경의 크기에 따라 약간의 차이는 있으나 저전류 역에서는 비교적 선형에 가깝고, 고전류 역에서는 비선형적으로 변하며, 특히 와이어의 직경이 작고, 고전류 역에서 전류가 증가할수록 급격하게 변화한다. 이것은 접촉튜브 끝의 와이어 돌출부의 저항열 때문이며 이 현상은 대략 (2.5)식과 같이 표현된다. 식(2.5)의 양변을 전류로 나누면 (2.6)식과 같이 표현할 수 있으며, 이 때 계수는 실험 데이터에 근거한 회귀 분석을 통해 구할 수 있다. Fig. 2.2는 용접 전류와 용착 속도의 실험데이터와 회귀분석을 통해 구한 함수를 그래프로 나타낸 것이다.



$$V_D = b_1 \cdot I + b_2 \cdot I^2 \cdot l_w \quad (2.5)$$

$$\frac{V_D}{I} = b_1 + b_2 \cdot I \cdot l_w \quad (2.6)$$

단, V_D : 용착 속도(g/min),

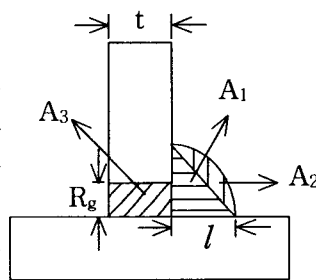
l_w : 와이어 길이(mm)

$$b_1 = 0.128, \quad b_2 = 0.0000225$$

Fig. 2.2 Relationship between welding current and deposition rate

2.3 용착 면적과 용접 속도

용착 면적은 와이어가 용융되어 채워진 이음부의 면적을 의미하며, 이음부의 형상이 주어지면 구해진다. Fig. 2.3은 곡블록 펠릿 이음부의 용착 면적을 나타내고 있다. 본 연구에서는 수직 판과 수평 판이 이루는 각도가 90°인 경우를 대상으로 실험을 실시하였다. 따라서, 단면적 A_1 의 경우에는 각장이 주어지면 식(2.7)로 구하며, 덧살 면적 A_2 는 일반적으로 A_1 의 10~20%로 주어지므로 본 연구에서는 20%로 가정하여 식(2.8)로 나타내었다. A_3 는 수직 판의 모재 두께와 갭이 주어지면 식(2.9)에 의해 구할 수 있으므로 전체 용착면적은 식(2.10)과 같이 각장 면적, 갭 면적 및 덧살 면적을 합한 결과가 된다.



$$A_1 = l^2 / 2 \quad (2.7)$$

$$A_2 = 0.2 \times A_1 \quad (2.8)$$

$$A_3 = t \times R_g \quad (2.9)$$

$$A_{dep} = A_1 + A_2 + A_3 \quad (2.10)$$

Fig. 2.3 Deposition area in fillet Joint

식(2.10)에 의해 표현된 용착 면적은 단위 시간 당 용착량과 용접 속도로 나타내고, 단위를 일치시키면, 식(2.11)로 표현된다. 식(2.11)을 단위 시간 당 용착량으로 나타내면 식(2.5)와 같으므로 식(2.12)로 둘 수 있다. 따라서 용접 속도는 식(2.13)으로 나타낼 수 있다. 그러므로, 전류와 와이어 돌출길이가 주어지고, 요구각장 및 갭이 주어지면 식(2.13)에 의해 그 때의 용접 속도를 구할 수 있다.

$$A_{dep} = \frac{V_D \cdot 100}{V_S \cdot \rho} \quad (mm^2) \quad (2.11)$$

$$V_D = \frac{A_{dep} \cdot V_S \cdot \rho}{100} = b_1 \cdot I + b_2 \cdot I^2 \cdot l_w \quad (g/min) \quad (2.12)$$

$$V_S = \frac{(b_1 \cdot I + b_2 \cdot I^2 \cdot l_w) \cdot 100}{A_{dep} \cdot \rho} \quad (cm/min) \quad (2.13)$$

3. 용접 실험

3.1 실험 개요

본 실험에 사용된 시편은 일반 연강으로 Fig. 2.4와 같다. 용접법은 조선소에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 CO₂ 용접법을 사용하였으며, 와이어는 플렉스 코오드 와이어(DW-100)를 사용하였다. 시편의 경사각이 클수록 용융 금속은 흘러내리는 경향이 크므로, 이를 파악하기 위하여 수직 및 수평 경사각을 0°~90°까지 각각 15° 및 30°간격으로 기울여 적정 전류와 전압과의 관계를 설정하였으며, 시편의 경사로 인한 언더컷 및 오버랩이 발생하지 않는 한계 용착 면적을 조사하였고, 이 값들을 인공 신경망의 학습 데이터로 이용하여 임의의 경사각에 대한 한계 용착 면적을 구하였다.

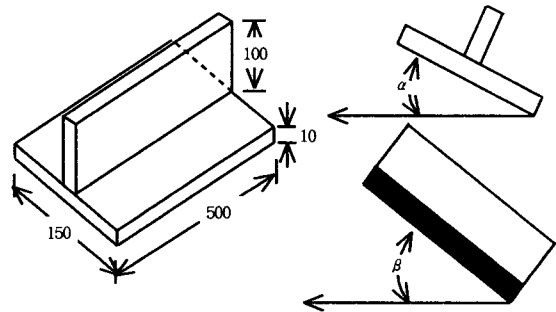


Fig. 2.4 Detail of welding specimen

3.2 실험결과

수평으로 기울인 시편의 한계 용착 면적은 각도가 클수록 거의 선형적으로 줄어드는 경향을 보였으나 수직으로 기울인 시편의 경우에는 수직 경사각 45° 이상부터 급격히 감소하는 경향을 보였다. Fig. 2.5는 수평 및 수직 경사각에 따른 한계 용착 면적을 그래프로 나타낸 것이다.

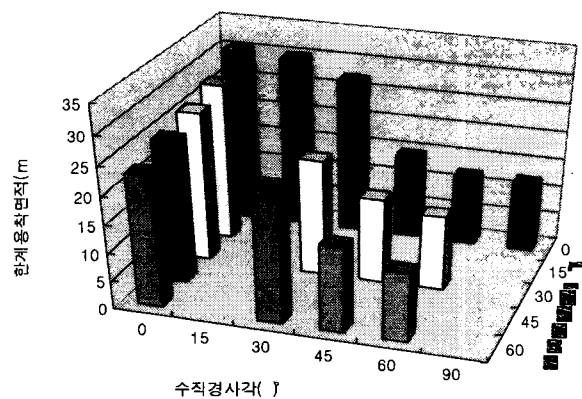


Fig. 2.5 Critical deposition area dependant on inclination of joint

4. 용접 조건 설정 프로그램

본 프로그램은 용접 전류, 용접 전압, 용접 속도, 패스 수를 구하기 위한 것으로, 요구 각장, 모재의 수평 경사각, 모재의 수직 경사각, 루트 갭, 와이어 돌출길이 등을 입력 값으로 받으며, 인공 신경망 시스템의 입력 패턴으로 모재의 수평 경사각, 모재의 수직 경사각을 주어 한계 용착 면적과 용접 전류를 구하고, 한계 용착면적과 전체 용착 면적을 비교하여 패스 수를 구하며, 각 패스당 용착 면

적을 구한다. 용접 전류를 이용하여 용접 전압을 계산하며, 각 패스 당 용착 면적을 이용하여 용접 속도를 계산하여 용접 변수들을 구하였다. Fig. 2.6은 본 연구에 사용된 인공 신경망의 구조를 나타내고 있으며, Fig. 2.7은 프로그램의 흐름도를 나타내고 있다.

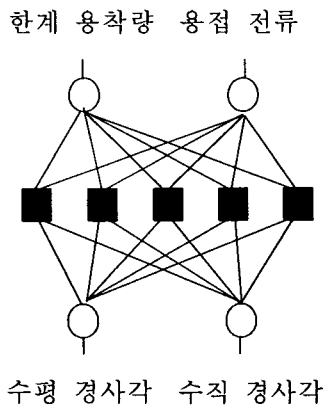


Fig. 2.6 Configuration of Neural Network

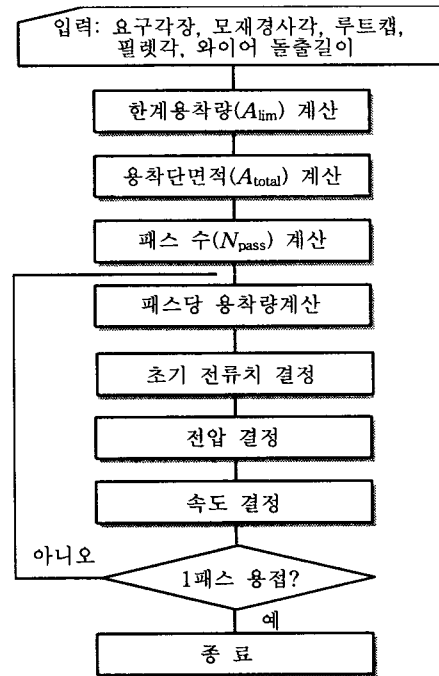


Fig. 2.7 Flowchart for determination of suitable welding condition for the curved block.

5. 결론

- (1) 모재가 수평 또는 수직으로 경사진 경우 언더컷과 오버랩이 발생하지 않는 한계 용착 면적이 존재함을 알 수 있었다.
- (2) 실험과 인공 신경망을 적용하여 임의의 모재 경사에 대한 한계 용착 면적을 구할 수 있었다.
- (3) 한계 용착 면적은 모재 경사각 30 °까지는 수직보다는 수평 경사각에 영향을, 30 ° 이후에는 수평 보다는 수직 경사각에 더 큰 영향을 받음이 밝혀졌다.
- (4) 한계 용착 면적의 결정에 의해 곡블록의 이음부에 대해 패스 수, 각 패스 당 용접 전류, 용접 전압, 용접 속도를 설정 할 수 있었다.

6. 참고문헌

- 1) J.Y.Park, S.H.Kim, "Expert System for Recommendation of Optimal Welding Parameters for CO₂ Robotic Arc Welding in Shipbuilding", Taiwan International Welding Conference on Technology Advancements and New Industrial Applications in Welding, 1998, pp. 491-498
- 2) 이상원, "학습하는 기계 신경망", 1995
- 3) A. Lesnewich, "Control of melting rate and metal transfer in gas shielded metal arc welding", 1992, IIW-Doc XII-1289-92