

기술강좌

용접변형(2)

- 용접변형의 간이 예측식 -

박정웅

Welding Deformation (2)

- Simple Estimation Formulas of Welding Deformation -

Jeong-Ung Park

1. 용접변형과 용착금속의 깊이와 폭

용접변형은 유한요소법을 이용한 정밀열탄소성해석, 간이해석방법인 등가하중법, 고유변형도법 그리고 실험에 의해 변형을 측정하고 이를 분석하여 하나의 예측식을 이용하여 예측할 수 있다. 이러한 방법들은 각각 장점과 단점을 가지고 있으며 요구되는 해석정도와 구조물의 크기에 의해 적절한 해석방법을 선택하여 적용할 수 있다.

여기서는 기존 연구자들이 제안한 용접변형 간이 예측식에 대해 소개하고자 한다. 대상재료는 주로 연강이고, 실험조건이 각각 다르므로 간이 예측식을 적용할 때는 적용하고자하는 대상과 예측식의 실험조건들을 검토한 후 적용하는 것이 좋다.

먼저 용접변형의 기본인 횡수축과 각변형에 대해 모재두께, 용착금속의 깊이와 폭이 미치는 영향에 대해 검토하고자 한다. 그림. 1은 동일한 모재두께에 입열량을 증가시켜 용착금속의 깊이와 폭이 증가된 것을 보여주고 있다. 이때 S는 횡수축력, L은 모재의 중립축과 횡수축력까지의 거리이다. 그림.1로 부터 표. 1과 같이 횡수축력과 각변형의 관계를 간단히 표현할 수 있다. Type 1은 두께에 비해 용착금속의 깊이와 폭이 작아 횡수축과 각변형이 작게 발생된다. 반면 Type 2는 횡수축은 그다지 크지 않지만, 각변형은 모재의 중립축과 횡수축력까지의 거리 길어 제일 크게 발생된다. 또한

표 1 용접비드와 각변형, 수축력

	Type 1	Type 2	Type3
S(수축력)	소	중	대
L	대	중	소
각변형	소	대	소

Type 3의 경우는 횡수축량은 용착금속의 깊이와 폭이 크므로 다른 Type에 비해 제일 크게 발생되나, 각변형은 모재의 중립축과 횡수축력까지의 거리가 짧아 작게 발생된다.

이러한 현상은 필렛용접의 각변형에서 확실히 나타나는데 동일 두께에 대해 용접입열량을 증가시키는 경우 약 중간정도의 입열량에서 각변형이 최대(Type 2와 같은 경우)로 발생된다. 또한 박판용접시 변형을 최소화하기 위해 입열량을 최대한 감소시키는 경향이 있는데 입열량과 모재두께에 따라 각변형이 크게 발생하는 경우가 있다. 이러한 경우 용접좌굴문제가 없는 경우 입열량을 증가시키므로 각변형을 감소시키면서 횡수축을 증가시킬 수 있다. 이때 횡수축은 수축마진을 적용하여 보완해야 한다. 따라서 이러한 용접변형을 특성을 잘 파악하여 각 구조물의 조건에 따라 적절히 적용하여 용접변형을 최소화시킬 수 있다.

2. 용접변형 간이 예측식

2.1 횡수축 예측식

1) 맞대기용접

박판을 제외하고는 주로 다층용접이 많이 적용되는데 맞대기용접에서의 횡수축량은 용착금속량이 증가함에 따라 증가하지만 그 증가율은 점차로 감소한다. 이것은

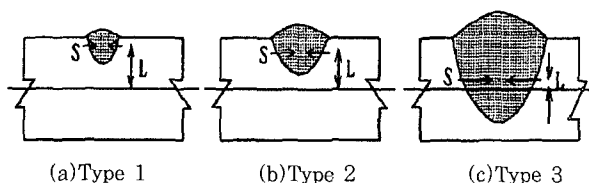


그림 1 용접변형과 용접비드

기 용착된 금속이 새로 용착되는 금속의 수축을 저지하는 정도가 점점 증가하기 때문이다. 횡수축량에 크게 영향을 미치는 것은 Root간격과 홈형상으로 Root 간격이 넓을 수록 수축은 커지고, X형 홈형상 보다는 V형 홈형상이 용착금속과 폭이 크므로 수축이 크게 발생한다. 간이 예측식은 다음과 같다.

$$P_b = 0.479 \cdot L \text{ (mm)} \quad (1)$$

여기서 L: 이음부의 평균폭(mm)
 $= T \cdot \sin(\theta/2) + s$
 T: 모재두께(mm), θ :개선각
 s: Root 간격(mm)

사용범위는 V홈: 5-30(mm), X홈: 16-22(mm)이며, 오차는 $\pm 14.1\%$ 임

$$P_b = 0.2(\text{용착금속단면적}/T) + 0.05 \cdot s \quad (2)$$

2) 필렛용접

필렛용접의 횡수축량은 맞대기용접의 횡수축량에 비해 매우 적게 발생된다. 이것은 비드 온 플레이트용접과 같이 횡수축을 모재가 구속하기 때문이다. 필렛용접의 경우에도 횡수축량은 용착금속량 또는 각장이 클수록 크게 된다. 필렛용접의 횡수축량(Pf) 간이식은 다음과 같다. (3)식은 일면용접, (4)식은 단속용접, (5)식은 양면용접의 경우이다.

$$P_f = \text{각장/판두께 (mm)} \quad (3)$$

$$P_f = (\text{각장/판두께}) \times (\text{용접길이/전용길이})(\text{mm}) \quad (4)$$

$$P_f = (\text{각장/판두께}) \times 1.5 \text{ (mm)} \quad (5)$$

2.2 각변형 예측식

1) 맞대기용접

후판용접에서 모재의 표면과 이면의 용착금속의 비대칭, 표면과 이면의 용접순서의 차이, V형 홈용접의 경우 표면 만을 용접금속의 채움 등에 의해 모재의 두께 방향으로 불규칙한 온도분포가 생성되어 서로 다른 횡수축을 유발되어 각변형이 발생한다. 또한 다양한 용접 시공조건으로부터 용접 각변형을 일률적으로 예측하기 어렵다. 따라서 여기서는 X형 홈용접에서 표면과 이면의 개선의 비대칭정도에 따른 각변형을 최소화시킬 수 있는 조건은 제시하고자 한다. 그 비율은 표면:이면이 6:4이고 만약 이면 가우징 작업을 고려한다면 7:3 정도가 적당하다. 그러나 최근 기존 연구와 동일하게 표면과 이면 비율로 용접한 결과 약간의 차이가 있다는

보고가 있으므로 실제 적용시는 실험을 통해 검토하는 것이 타당하다고 생각된다.

2) 필렛용접

필렛용접의 각변형에 대해서는 많은 보고서 및 관련 자료를 쉽게 접할 수 있으므로 여기서는 지면관계상 생략하기로 한다.

2.3 종수축(종수축력) 예측식

종방향의 수축은 용접길이의 약 1/1,000 정도로, 횡수축량에 비해 매우 작다. 이것은 종수축을 모재가 구속하기 때문이다. 그러나 용접길이가 길고 부재의 중립축과 용접부가 떨어져 있는 경우에는 종수축에 의한 종굽힘변형이 발생한다. 따라서 이러한 종굽힘변형을 예측하기 위해서는 아래와 같은 종수축력을 예측식이 필요하다.

◎ SATO(1979년)

: 고유변형도법을 사용하였으며, 필렛용접대상

$$P_t = 0.181 E a Q_{\#i} / c p = 107 Q_{\#i} (N)$$

여기서

$$E = 205.8 \text{ GPa}, c p = 0.00417 / \text{mm}^2 \text{ centigrade}$$

$$a = 1.2 \times 10^{-5} / \text{centigrade}, Q_{\text{net}} = \eta A I / v (\text{J/mm})$$

η : 효율, A:전류, I:전압, v:용접속도

◎ White(1977~80년)

: 실험치와 2차유한차분법에 의한 수치해석으로부터 도출

$$P_t = 200 \eta Q = 200 Q_{\#i} (N)$$

◎ MURAKAWA(2000년)

: 열탄소성해석을 수행하여 스프링정 수가 열사이클 과정에서 변화 고려

$$P_t = 160 Q_{\#i} (N)$$

◎ TERASAKI(2001년)

: 스프링상수가 열사이클 과정에서 변화하지 않는다는 가정

$$P_t = 0.335 E a Q_{\#i} / c p = 198 Q_{\#i} (N)$$

3. 마 무 리

대표적인 용접변형을 예측하는 간이식에 대해 알아보았다. 그 밖에도 용접변형을 예측하는 식들은 다양한 방법과 강 재질에 따라 제시되고 있다. 본 강좌에서 소개한 간이식을 이용해서 기본적인 강구조물에 대해 용

접변형을 예측할 수 있으나, 구조물의 외적구속과 형상을 고려한 정확한 변형예측을 위해서는 앞서 설명한 정

밀 열탄소성해석, 등가하중법, 고유변형도법 등과 같은 방법을 사용해야한다.



- 박정웅(朴正雄)
- 1966년생
- 조선대학교 토목공학과
- 용접잔류응력 및 변형, 용접강도
- e-mail:jupark@mail.chosun.ac.kr