

# 필렛용접시 발생하는 종굽힘변형 방지를 위한 해석적 연구

## The Analytic Study for Prevention of Longitudinal Deformation in a Fillet Welding

박정웅\*, 이진형\*\*, 장경호\*\*\*

\* 조선대학교 토목공학과

\*\* 중앙대학교 토목공학과 대학원

\*\*\* 중앙대학교 건설환경공학과

### 1. 서론

선체제작시 종강도를 높이기 위해 사용되는 Built-Up(BU)재는 조선소에 따라 다르나 연간 VLCC 4척을 건조하는 경우 약 1050EA/1Month의 생산량이 필요하다. 이러한 BU재는 일반적으로 Flange재 위에 Web재를 올려놓고 필렛용접에 의해 제작된다. 그러나 용접길이가 약 22m로 길고 용접부가 부재의 중립축으로부터 아래부분에 위치하므로 용접에 의해 종굽힘변형이 필연적으로 발생한다. 그래서 현장에서는 종굽힘변형을 방지 및 교정하기 위해 용접후 web재의 상부에 삼각가열을 부분적으로 실시하여 교정하는 방법, 프레스를 이용한 소성변형에 의한 교정방법, 그리고 용접전 역변형을 주고 용접후 용접부가 완전히 냉각후 역변형을 제거하므로서 변형을 최소화하는 방법 등이 사용되고 있다. 그러나 이러한 방법들은 제작공정과는 별도의 교정공정이 필요하고 역변형법의 경우 역변형을 해제하는데 충분한 시간이 필요하여 생산성 저하의 원인이되고 있다.

따라서 본 연구에서는 Fillet용접에 의한 종굽힘변형의 생성기구로부터 종굽힘변형을 유발시키는 용접에 의한 굽힘모멘트를 web Plate에 고주파가열에 의한 굽힘모멘트를 발생시켜 두개의 모멘트를 상쇄시켜 종굽힘변형을 방지하는 방법을 제시하고, 이를 열탄소성해석을 통해 고주파가열량에 따른 종굽힘영향에 대해 검토하였다.

### 2. 종굽힘변형 및 방지대책

해석모델의 치수는 Flange의 폭(150mm) x 두께(18mm)이고 Web가 높이(250mm) x 두께(11.5mm)이고 길이는 3000mm이다. 해석을 대칭성을 고려하여 1/4모델을 사용하였다. 경계조건은 강체변형이 발생하지 않도록 구속하여 용접에 의해 변형이 자유스럽게 발생하도록 하였다. 해석은 3차원 Solid요소를 사용하여 먼저 3차원 열전도해석을 수행하여 온도분포를 구하여 이를 절점하중으로하는 3차원 열탄소성해석을 수행하여 용접변형을 해석하였다.

용접기는 1-Torch 2-Wire 잠호용접으로 와이어 직경은 2.0φ 이고 양면 동시용접을 실시하였다. 용접조건은 전류 720(A), 전압 26(V), 속도 1004(mm/min), 각장은 5mm이다. 해석시 입열량은 1121(J/mm)이며 효율( $\eta$ )을 0.95 로 하였다.

Fig.1은 열탄소성해석 결과로 전체변형형상을 100배로 확대해서 보여 주고 있다. Fig.2은 WEB Plate의 윗끝단에서의 종굽힘변형에 대해 과도 및 잔류 종굽힘변형을 보여 주고 있다. 결과에 의하면 용접 중에는 용접부가 팽창하므로 아래방향으로 굽혀지는 지고 용접완료 후 용접부의 수축으로 인해 위로 볼록한 종굽힘변형이 발생한다. 현재의 모델의 크기에서는 중앙부에서 최대 3.5mm가 발생하였으나 실험에 의하면 길이 20,000mm인 경우 100mm 정도의 변형이 발생된다. 이러한 종굽힘변형은 부재의 중립축으로부터 용접부가 아래에 있어 용접에 의한 굽힘변형이 발생하는 것이다. 따라서 이러한 용접에 의한 굽힘변형을 중립축으로부터 위쪽에 고주파가열에 의한 굽힘모멘트를 생성시킴으로서 방지할 수 있다.

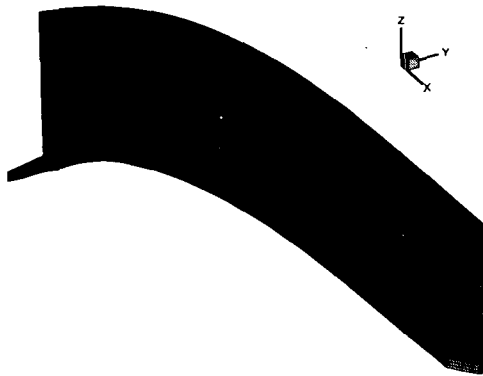


Fig.1 필렛용접에 의한 종굽힘변형 형상

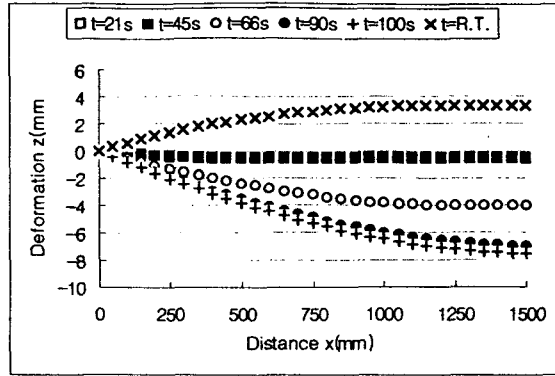


Fig.2 필렛용접에 의한 종굽힘 과도 및 잔류변형

### 3. 고주파가열에 의한 종굽힘변형 방지

#### 3.1 고주파가열 모델링

고주파가열 속도는 용접속도와 같으며, 가열단면 및 깊이는 실제 고주파가열단면으로부터 중심깊이가 3mm이고 반타원형의 형상으로 설정하였다. 고주파가열에 의한 입열량은 실제 전자기장 해석을 이용하여 입열량을 계산해야하지만 여기서는 실제 가열된 단면으로부터 H.A.Z가 700℃가 되도록 반복 열분포해석을 통해 단위체적당 입열량을 0.64(cal/mm<sup>3</sup>·sec)로 결정했다. 또한 가열위치는 가열의 용이성을 고려하여 Web Plate의 필렛용접부로부터 단부로 150mm 떨어진 곳을 설정하였다.

#### 3.2 고주파가열량에 따른 종굽힘변형 해석

Fig.3은 고주파가열과 용접시 발생하는 온도분포를 보여주고 있고, Fig.4는 이때의 종굽힘과도/잔류변형을 보여 주고 있다. 결과에 의하면 과도최대변형은 필렛용접에 의해 발생하되는 과도최대 변형량보다 50%로 감소하여 발생되었다. 하지만 전체적인 과도변형은 고주파가열부와 용접부의 온도분포 및 온도이력에 의해 고주파가열에 의한 변형이 주도적이며, 잔류변형은 최종적인 힘의 균형을 유지하여 종굽힘변형이 방지되는 것을 알 수 있다.

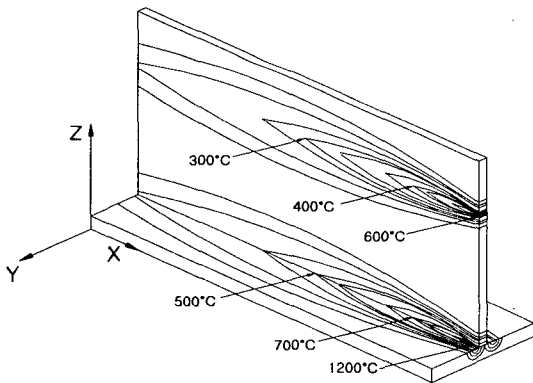


Fig.3 용접과 고주파가열에 의한 온도분포(t=90s)

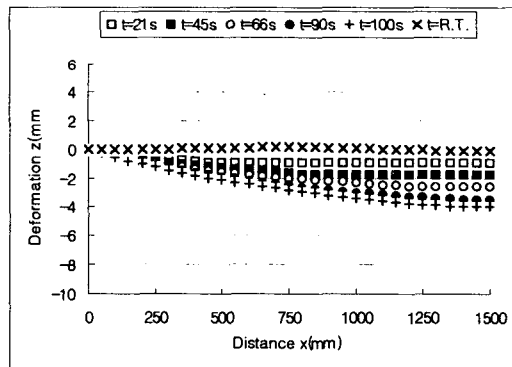


Fig.4 용접과 고주파가열시 종굽힘변형

Fig.5는 종굽힘변형이 발생하지 않은 고주파가열량(0.64 (cal/mm<sup>3</sup>·sec))을 ± 30%로 증·감시켜 해 석한 결과로서 입열량의 변화에 따른 종굽힘변형의 영향을 검토하였다. 결과에 의하면 입열량의 변화에 따라 잔류종굽힘변형이 약 ± 1mm로 비례적으로 변화하여 입열량에 따라 종굽힘변형을 제어할 수 있음을 알 수 있었다.

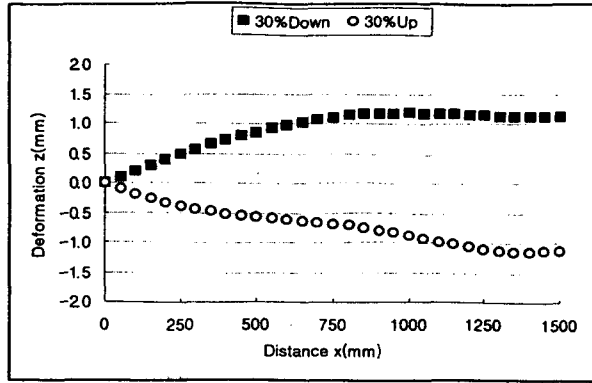


Fig.5 고주파 열량의 증감에 따른 종굽힘 과도/잔류변형

### 3.3 해석적방법에 의한 타당성 검토

고주파가열에 의한 종굽힘변형방지 방법에 대한 해석적 검토를 위하여 전절에서 사용한 동일 용접조건 및 고주파가열조건으로 Built-up재의 형상만을 변화시켜 해석하였다. 해석에 사용한 모델의 치수는 Flange의 폭(150mm) x 두께(22mm)이고 Web가 높이(300mm) x 두께(11.5mm)이고 길이는 3000mm이다. 고주파가열위치는 다음과 같은 방법으로 결정하였다. 종굽힘변형은 용접입열량 ( $Q_w=1121(J/mm)$ )과 부재의 중립축으로부터 용접부까지의 거리( $L_w=55mm$ )의 곱에 의한 용접굽힘모멘트에 의해 발생되므로, 종굽힘변형을 방지하기 위해서는 용접굽힘모멘트( $M_w$ )와 크기가 같고 방향이 반대인 고주파모멘트( $M_i$ )가 작용하도록 설정해야 한다. 전 해석에서 중립축으로부터 고주파의 가열거리( $L_i$ )가 95mm이므로 고주파입열량( $Q_i$ )을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$Q_w \times L_w = Q_i \times L_i \quad \therefore Q_i = (Q_w \times L_w) / L_i \quad \text{---(1)}$$

식(1)에 의해  $Q_i$ 는 649(J/mm)이므로 본 해석에 사용하는 Built-Up재의 부재의 단면으로부터 중립축으로부터 용접부까지의 거리( $L_w$ )가 71mm이므로 식(1)에 의해 고주파가열 위치( $L_i$ )를 122.6mm로 계산된다.

Fig.6은 용접에 의한 종굽힘 과도/잔류변형의 형상을 보여 주고 있고, Fig.7은 식(1)에 의해 종굽힘변형을 방지되는 고주파 가열위치를 계산하고 가열했을 경우의 과도/잔류종굽힘변형을 보여 주고 있다. 결과에 의하면 예비해석과 식(1)에 의해 구한 가열위치를 적용하므로서 종굽힘변형을 방지할 수 있었다.

### 4. 결론

Built-Up재제작시 Fillet용접에 의한 종굽힘변형을 web Plate에 고주파열원을 이용하여 방지하는 방법에 대해 열탄소성해석으로 종굽힘변형의 생성메카니즘과 고주파가열량에 따른 종굽힘영향에 대해 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 종굽힘변형의 생성과정과 메카니즘을 해석적방법으로 규명하고 고주파가열에 의한 방지법을 제시하였다.
- 2) 고주파가열량에 따라 종굽힘변형은 비례적으로 변화하여 고주파가열량을 조절하므로서 종굽힘변형을 제어할 수 있었다.
- 3) 위의 결과를 이용하여 부재형상이 다른 Built-up재의 종굽힘변형을 방지하므로서 고주파가열에 의한 종굽힘변형 방지법의 타당성을 확인하였다.

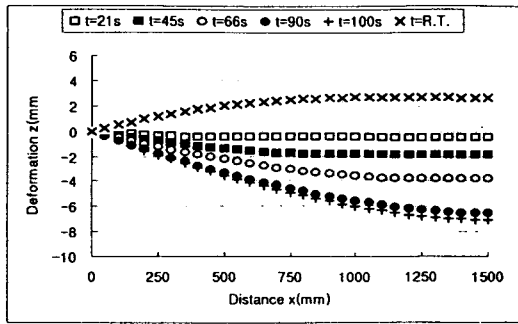


Fig. 6 필렛용접에 의한 종굽힘 과도/잔류변형

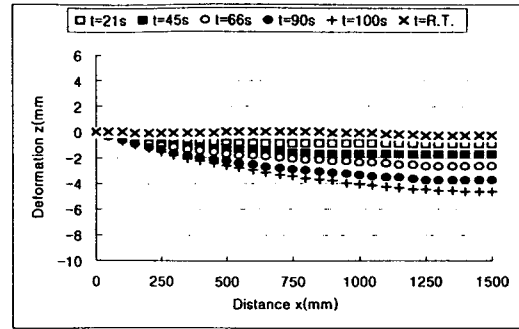


Fig. 7 용접과 고주파가열시 종굽힘변형