

# 선상 가열시 각 변형 및 횡 수축에 관한 연구

## A Study on the Angular Distortion and Shrinkage by Line Heating

이희태\*, 신상범  
현대 중공업(주)

### 1. 서론

선박의 선미 및 선수의 곡 블록 제작을 위한 3차원 곡 가공 작업은 선상 가열 및 삼각 가열과 같은 열간 가공에 의해 제작된다. 열간 가공법은 강판에 주어진 곡면을 가공할 수 있는 마킹(Marking) 작업을 한 후, 곡형을 기준으로 가열 및 수정 작업을 반복하면서 이루어지는데, 대부분의 공정이 수작업에 의존하고 있어 열악한 작업 여건에 따른 문제뿐 아니라 작업의 효율성이라는 측면에서 많은 문제점을 내포하고 있다. 특히, 대부분의 작업들이 숙련된 작업자의 경험과 감각에 의존하고 있어 향후 작업능력의 유지에 상당한 어려움이 있다. 이러한 어려움을 해결하기 위해 해외 선진 조선소 및 국내 조선소의 경우 곡 가공 자동화를 위한 연구를 지난 수년간 지속적으로 수행하고 있다. 열간 가공에 의한 강판의 곡 가공 자동화 시스템 구축에 있어서 우선적으로 선결되어야 할 중요한 연구는 원하는 곡면을 얻을 수 있는 가열 위치를 자동으로 예측할 수 있는 알고리즘개발인데, 열간 가공시 발생하는 변형 메커니즘이 매우 복잡하여 영향을 미치는 모든 인자들을 고려한 알고리즘 개발은 매우 어렵다. 특히, 선상가열시 발생하는 변형의 경우 용접에 의한 변형 해석 방법과 동일한 방법으로 해석을 수행하고 있어 횡 방향의 수축에 대해서는 해석이 불가능하였으며 각 변형 해석도 검증이 되지 않은 실정이다. 따라서, 가열 조건에 따른 변형에 대한 체계적인 연구가 요구되는데 현재까지 이에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있다. Isamu and Yasuyuki는 실험적 방법을 통해 oxy-acetylene 화염에서의 가열 조건과 각 변형과의 관계를 실험과 유한요소 해석을 통해 규명하였을 뿐 아니라 등가모델로 이상화 시켰는데, 특정한 가스에 대해서만 실험을 하였을 뿐 아니라 검증이 되지 않아 실제 현장에 적용하기가 힘들다.

본 연구에서는 선상가열시 가열 위치 자동 예측 알고리즘 개발을 위한 기본 연구로서 여러 가지 가스에서의 화염에 대한 실험적 연구 및 유한 요소 해석을 이용하여 앞서 소개된 등가 모델에 대한 검증 및 실제 현장에서 적용 가능한 등가 모델을 개발하고자 하였다.

### 2. 실험 및 해석 방법

선상 가열시 각 변형 및 횡 수축의 예측을 위한 등가 모델 개발을 위하여 본 고에서 사용된 실험 변수는 가열시 사용된 가스의 종류 그리고, 유량등과 같은 열원 변수 및 주판의 두께와 같은 기하학적 변수이며, 이러한 실험 변수는 식(1)과(2) 도시한 바와 같이 각 변형 과 횡 수축 기구의 차원 해석결과에 근거하여 선정하였다.

$$\phi = f\left\{\frac{Q_0}{D_b}\right\} \quad (1) \qquad \delta = f\left\{\frac{Q_0}{D_i}\right\} \quad (2)$$

여기서, 식(1)과 (2)와  $\phi$ 와  $\delta$ 는 각각 각 변형 및 횡 수축량이고,  $D_b$ 와  $D_i$ 는 각각 주판의 굽힘과 면내 강성이며,  $Q_0$ 는 단위 시간당 입열량이다. 그리고, 다양한 변수들이 각 변형 및 횡 수축에 미치는 영향을 평가하기 위한 유한 요소 해석시 사용된 열원 모델은 가스 화염 특성상 1차와 2차 화염에 의한 효과를 고려하기 위하여 식(3)과 같이 가정하고 유한 요소 해석을 수행하였다.

$$q(r) = \frac{6Q}{\pi(R_1^2 + R_2^2)} f(R_1, R_2) \quad \text{식(3)}$$

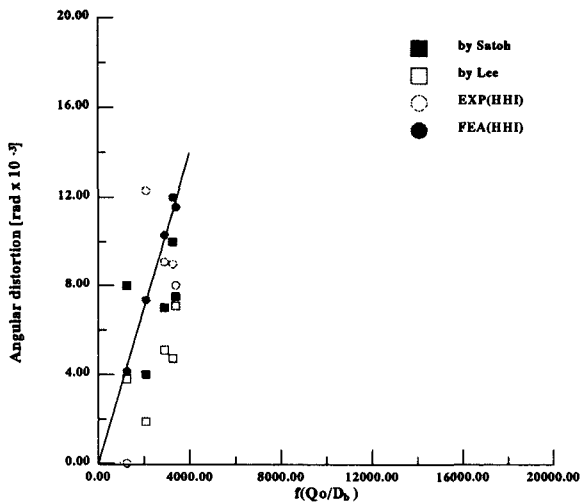
여기서,  $R_n$ 은 1차 및 2차 화염의 길이이며,  $Q$ 는 가스의 발열량이다.

### 3. 해석 및 실험 결과 및 고찰

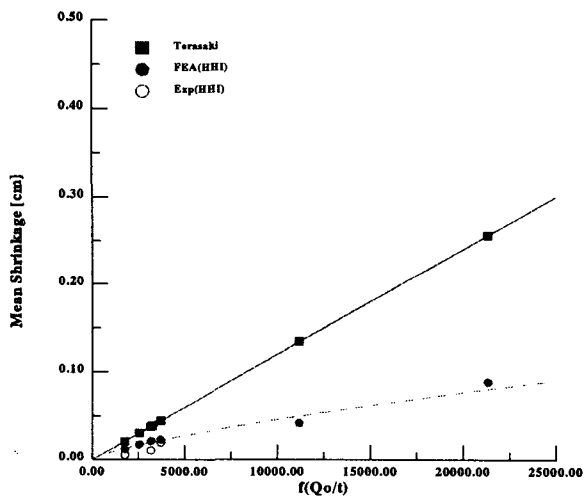
Fig. 1의 (a)와 (b)는 에틸렌 및 산소의 혼합 가스에 의한 가스 열원이 주판에 가해진 경우 입열량 및 굽힘 강성 그리고, 면내 강성 계수의 비에 따른 각 변형 및 횡 수축량의 거동을 도시한 것이다. 선상 가열시 각 변형은 Fig. 1의 (a)와 같이  $f(Q_0/D_b)$ 가 증가함에 따라 선형적으로 증가하며, 기존의 해석 결과와 본 고의 실험 및 해석 결과는 비교적 잘 일치하고 있다. 그러나, 입열량 및 면내 강성의 비에 따른 횡 수축량의 경우 Fig. 1의 (b)와 같이 기존의 해석 결과 및 본 고의 해석 결과 모두 입열량 및 면내 강성 계수의 비,  $f(Q_0/D_i)$ 가 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 동일한 양상을 보이고 있으나, 횡 수축량과  $f(Q_0/D_i)$ 간의 비례 계수에는 현격한 차이를 보이고 있다. Fig. 2에 도시한 바와 같이 실험 결과에 비교해볼 때 본 연구의 해석 결과가 기존의 연구 결과에 비해 상당히 정도 높은 결과를 제공하고 있음을 알 수 있다. 이상의 유한 요소 해석 결과로부터 선상 가열시 각 변형 및 횡 수축은 각각 식(4)와 (5)와 같이 정식화될 수 있다. 식(4)와 (5)에서 A와 B는 비례 계수이다.

$$\phi = A \cdot f\left\{\frac{Q_0}{D_b}\right\} \quad (4)$$

$$\delta = B \cdot f\left\{\frac{Q_0}{D_i}\right\} \quad (5)$$



(a) Angular distortion



(b)shrinkage

Fig. 1 Changes of angular distortion and shrinkage with  $f(Q_0/D_b)$  and  $f(Q_0/D_i)$

### 4. 결론

선미 및 선수 블록의 곡면 가공시 적용되는 선상 가열에 의한 각 변형 및 횡 수축 기구를 열원 변수 및 기하학적 변수에 대해 실험 및 유한 요소 해석을 이용하여 평가하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 선상 가열시 각 변형은 가열시 주판으로 유입되는 입열량 및 굽힘 강성의 계수의 비에 따라 선형적으로 증가하는 경향을 보인다.
2. 선상 가열시 횡 수축은 입열량과 면내 강성 계수의 비에 선형적으로 증가하는 경향을 보이며, 실험 연구 결과와 비교해 볼 때, 본 고에서 제안된 변형 예측 모델은 기존의 연구 결과에 비해 매우 정도 높은 예측 기법을 제안하고 있다.