

대입열 용접에 의한 HAZ연화부를 갖는 극후판 용접이음부의 인장강도 평가

Tensile strength of thick plate welded joint with
weld HAZ softening for high heat input welding

장 태원*, 남 성길*, 안 규백*

* 삼성중공업(주) 생산기술연구소

ABSTRACT In recent time there are vigorous requirement for the use of thick steel plate in various industrial fields including shipbuilding industry. Application of TMCP steel plates, especially, is increase progressively. As a welding process for thick steel plate assembly high heat input welding method is used. However, HAZ softening of TMCP steel plates has a possibility to reduce the strength of welded joint. In this study, therefore, tensile strength of TMCP welds had softened HAZ was examined using numerical calculation and experiment.

1. 서 론

조선업을 포함한 다양한 산업 분야에서 후판 강재의 수요량 증가와 함께 사용 범위 또한 폭넓게 되고 있다. 특히, 후판 강재의 용접에 있어서는 생산성을 고려하여 대입열에 의해 용접이 수행되는 경우가 많고, 대입열용접 용의 TMCP 강재가 많이 사용되고 있다. 예로써, 조선현장에서는 선박의 대형화와 함께 극후판 사용이 증대되며, 생산성 향상을 위하여 대입열에 의한 후판 용접이 불가결하게 되었다. 한편, TMCP강에서는 용접 입열에 의한 HAZ부에 연화가 발생하고, 이로 인하여 용접이음부강도의 저하가 우려된다. 이처럼 강도적으로 불균질 부분을 갖는 이음부에 대한 세심한 이음부강도를 평가할 필요가 있다.

본 연구에서는, 대입열 용접에 의해 발생하는 HAZ 연화부를 갖는 극후판 용접 이음부에 대하여 대형 인장시험 및 계산에 의하여, 모재 강도와 동등의 이음부강도를 얻기 위한 용접이음부 및 모재의 조건에 관하여 검토 하였다.

2. EGW 이음부의 인장시험 결과

본 연구에 사용한 강재는 EH36 grade의 TMCP강이며, 판두께가 58mm, 64mm의 2 종류에 대하여 인장강도가 각각 다른 537MPa, 547MPa, 597MPa의 3 종류에 대해서 Electro gas arc welding(EGW: 입열량-514kJ/cm)에 의한 시험편을 제작 하였다. Table 1, Table 2 에는 강재의 화학조성 및 기계 성질 나타내었다. 한편, 용접 이음부 단면의 Face, Middle, Root

Table 1 Chemical composition of EH36 steel used

Steel	C	Si	Mn	Cr	Ni	Al	Ti	C _{eq}
EH36-58t-1	0.09	0.26	1.57	0.14	0.001	0.054	0.01	0.36
EH36-64t-2	0.09	0.26	1.55	0.14	0.001	0.052	0.01	0.36
EH36-64t-3	0.09	0.26	1.55	0.14	0.001	0.052	0.01	0.35

$$C_{eq} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/15$$

Table 2 Mechanical properties of base metal and HAZ

Steel		Yield stress (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
Base metal	EH36-58t-1	458	579	24
	EH36-64t-2	419	537	27
	EH36-64t-3	422	547	27
HAZ(EH36-58t-1)		319	473	24

에서의 경도테스트 결과 두께방향으로는 큰 경도 차이를 나타내지 않았으며, 동일하게 HAZ 영역에서 연화가 관찰되었다. 본 연구에서는 시험편 두께(t)에 대한 연화폭(H_0)의 비를 상대폭으로 정의 하고 $X_t (= H_0/t)$ 로 나타내었다. 또한, 종래의 연구¹⁾로부터 연화부를 갖는 용접이음부의 강도는 시험편 폭의 영향을 받는다는 보고가 있으므로, 본 연구에도 HAZ연화부를 갖는 이음부에 대하여 시험편 폭의 영향에 의한 인장강도의 특성을 고찰하기 위하여 시험편 폭이 25mm인 경우와 500mm인 경우에 대하여 인장시험을 실시하였다. 실험결과를 Fig. 2에 나타내었으며, 종래의 연구 결과와 동일하게 시험편의 폭이 커지는 것과 함께, 인장강도가 증가하는 경향을 확인할 수 있었다. 하지만, 모재의 강도에는 도달하지 못하고 모재보다 다소 낮은 인장강도를 나타내었다. 이것은 두께에 대한 시험편의 폭이 충분하게 크지 못함에서 기인하는 것으로 생각된다. 한편, 극 후판에 있어서는 시험기의 용량 등을 고려하여 광폭 인장시험에는 한계가 있으므로, 충분하

게 폭이 두께에 비하여 큰 경우의 용접이음부에 대한 인장강도의 평가는 간이계산식을 이용하여 예측 하고자 한다.

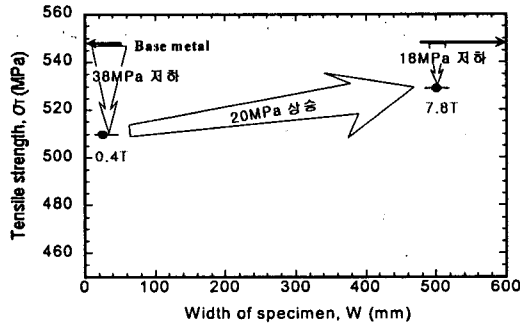


Fig. 2 Effect of width of specimens of tensile strength.

3. HAZ연화부를 갖는 용접 이음부의 강도계산 및 고찰

강도적 불균질재를 갖는 용접구조물의 이음부에 대한 강도를 평가하기 위하여, 종래부터 Toyoda²⁾가 제안한 부재의 두께에 비하여 폭이 충분히 큰 경우에 있어서 용접이음부가 인장강도를 계산하는 식(1)을 이용하여, 본 연구에서 사용한 대상강재에 대한 용접이음부의 강도를 평가 하였다.

$$\begin{aligned}
 S_r \geq D &\rightarrow \sigma^J = \sigma_T^{B.M.} & (i) \\
 S_r < D &\rightarrow \sigma^J = (0.43X_t + 0.22)\sigma_T^{HAZ} + (0.82 - 0.40X_t)\sigma_T^{B.M.} \\
 &\quad (0.2 \leq X_t \leq 1.0, 0.6 \leq S_r \leq 1.0), D = \frac{(0.40X_t + 0.18)}{(0.43X_t + 0.22)}
 \end{aligned}$$

Fig. 3에는 대표적인 예로서 EH36-64t-2의 모델에 대하여 이음부의 인장강도를 (1)식에 의하여 계산하여 모재의 인장강도에 대한 값으로 ($\sigma_T^J / \sigma_T^{B.M.}$) 나타낸 값과 모재의 인장강도에 대한 연화부의 인장강도의 값 ($\sigma_T^{HAZ} / \sigma_T^{B.M.}$)과의 관계를, 무차원화 하여 나타낸 것이다. 광폭 용접이음부를 대상으로 하면 $X_t (= H_0/t) = 0.29$ 이고, $S_r (= \sigma_T^{HAZ} / \sigma_T^{B.M.}) = 0.86$ 일때, 이음부 인장강도는 모재의 인장강도와 거의 동등하게 된다는 것을 확인 하였다. 또한 연화부의 Middle과 Root에서의 강도비와 상대연화폭 에서 구한 이음부의 강도 관계에 동시에 나타내면 Fig. 3에서와 같이 모두 모재와 동등한 강도를 얻을 수 있음을 확인하였고, 후판의 경우는 대입열 용접공법을 적용하는 경우가 많기 때문에 실제 구조물의 강도상에 문제가 되지 않는 연화의 정도를 명확히 하기 위한 지표로서, 모재의 C_{eq} 의 최저값의 설정에 관하여 고려하였다. Fig. 4는 광폭 이음부의 인장강도가 490MPa (각종 선급의 최소 요구 강도) 를 만족하기 위해 필요한 모재의

인장강도와 HAZ 연화부의 인장강도의 관계를 나타냈다. 연화폭은 본 연구의 범위에서 가장 연화가 진행 될 수있는 경우로 예측되는, $X_t = 0.3$ 을 사용하였다. 모재 강도가 490MPa의 때, 광폭이음부의 인장강도가 모재의 인장강도와 동등하다고 간주된 C_{eq} 의 허용 범위는, 본 연구에 사용한 재료의 탄소량의 정도에서는 C_{eq} 가 0.23%이상 이고, HAZ 연화부의 인장강도가 420MPa 이상이라면, 광폭이음부의 인장강도는 모재의 인장강도와 동등한490MPa를 만족할 것으로 생각된다.

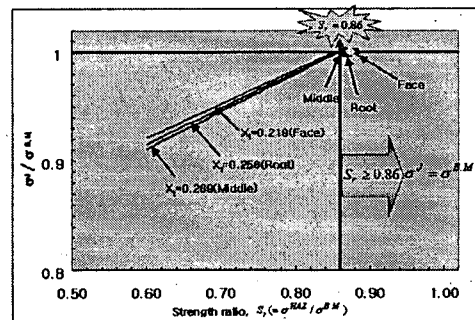


Fig. 3 Effect of strength ratio on tensile strength of welded joint in each specimen.

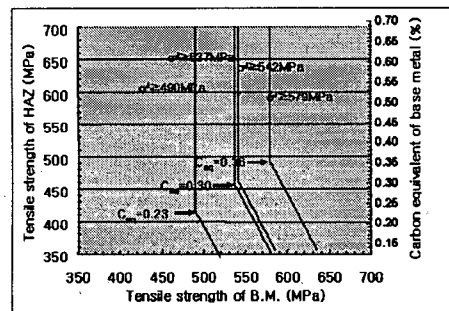


Fig. 4 The relationship between tensile strength of base material and softened zone able to obtain tensile strength of welded joints of each 490MPa, 537MPa, 542MPa, 579MPa.

4. 결 론

극후판 TMCP형 대입열용 강재가 HAZ 연화부를 갖는 경우 용접이음부의 강도를 평가하기 위하여, 대형 인장실험 및 계산을 수행하여, 충분한 폭을 갖게 되고 일정기준의 연화폭과 모재의 탄소당량을 유지하게 된다면 얻고자하는 이음부의 강도를 얻을수 있다는 것과, 얻고자하는 이음부 강도에 대한 연화폭 및 연화부의 강도등을 결정가능 하다는 것을 알았다.

참 고 문 헌

1. H. Nitoh, D. Sakai, H. Yajima, Y. Inoue, Y. Sogo, K. Satoh, M. Toyoda: Tensile strength of welded joint at TMCP type 50kg/mm²-class, *Journal of the Society of Naval Architects of Japan*, 304-311, (1985) (in Japanese).
2. M. Toyoda: Interface mechanics, 155-188, (1991) (in Japanese).