

# 잠수함용 강재의 두께에 따른 용접예열 온도 예측

## Prediction of Preheating Temperature of Steels for Submarine Fabrication

김 희 진, 강 봉 용  
한국생산기술연구원

### 1. 서 론

국내에서 건조되고 있는 잠수함은 모두 HY-강재를 사용하고 있는데, 이들 재료는 저온균열에 매우 취약하기 때문에 시공자는 매우 엄격한 예열기준을 자체 개발하여 적용하고 있다. 이러한 기준들은 문헌이나, 선지국의 사례, 또는 자체 실험결과를 토대로 제정되고 있는데, 본 발표에서는 그러한 예열기준에 대해 보다 체계적이고 이론적인 근거를 제시하고자 하였다.

### 2. HY-100강의 예열 및 층간온도 기준

V형 개선을 한 HY-100강에 SAW기법으로 용접하는 상황을 설정하고, 이 상황에서 예열 및 층간온도 기준이 어떻게 적용되는지를 보여주고자 한다. 초기 예열은 초층에서의 루트균열을 방지하고자 하는 것이다. 이에 필요한 예열온도는 그림 1에서 보여주는 바와 같다. 루트부에는 노치효과가 있기 때문에 최악의 상황을 고려하여 y-그루브 시험에서 얻어진 결과를 적용하였다. 이렇게 하여 초층 용접이 온전히 마치게 되면 두번째 층부터는 노치가 존재하지 않기 때문에 그림 1에서 요구하는 예열온도까지는 필요치 않을 것이다. 그러나 용접이 계속되어 용착금속의 두께가 증가하게 되면, 확산성수소량이 축적되고 잔류응력이 증가하여 용착금속부에서 균열이 발생할 가능성이 점차 높아지게 된다. 따라서 일정두께 이상이 되면 그림 1에서 보여주는 층간온도가 만족되어야 한다. 이 그림에서 보는 바와 같이 예열온도와 층간온도가 23mm 두께지점에서 서로 교차하게 된다. 본 보고에서는 교차점에서의 두께를 천이두께( $t_{H/W}$ )라 칭하였는데,  $t_{H/W}$  이하에서는 예열온도( $T_c(HAZ)$ )가 층간온도( $T_c(WM)$ )보다 높게 나타나고,  $t_{H/W}$  이상에서는 층간온도( $T_c(WM)$ )가 예열온도를 상회하게 된다.

결론적으로 천이두께 이상의 HY-100강재를 용접하는 경우에는 층간온도가 보다 중요한 조건임으로, 시방서를 작성하는 시점에서 이를 필히 고려하여야 할 것이다. 만약 예열온도와 층간온도를 구분하지 않고 이들을 모두 예열온도만으로 표기하는 경우에는 필히 층간온도를 예열온도 기준으로 하여야 할 것이다.

### 3. HSLA-100강의 예열 및 층간온도 기준

HSLA강은 HY-100강을 대체하여 개발된 강으로써 탄소함량을 0.07% 수준으로 낮추어 용접성을 향상시키고, 이로 인한 강도저하 Cu 첨가로 보상한 것이다. 탄소 저하로 인하여 용접성은 크게 향상되는데 두께에 따른 예열온도를 계측하여 도표화하여 보면 그림 2의  $T_c(HAZ)$ 의 곡선과 같이 나타난다. 이 곡선에서 알 수 있듯이 두께가 70mm이 이르더라도 필요 예열온도( $T_c(HAZ)$ )는 100°C 정도에 지나지 않는다. 그리고 상온을 25°C도라 하였을 경우에 무예열용접이 가능한 모재 두께는 30mm에 이른다. 그러나 확산성수소량이 높은 서브머지드 아크용접(SAW)에서는 HY-100강에 적용하였던 예열기준을 그대로 적용하도록 권고하고 있다.

그림 2는 이러한 층간온도와 모재를 기준으로 설정한 예열온도를 비교하여 보여주고 있다. 이 두 곡선에서 알 수 있듯이 HSLA-100강에서는 층간온도가 예열온도보다 매우 높게 되어있다. 초층에서는 평균열이 발생할 염려가 없으므로  $T_c(WM)$ 에 관계없이 예열온도는 낮게 설정하여도 되지만 용착금속의 두께가 증가하게 되면  $T_c(WM)$ 이 요구하는 고온의 층간온도를 만족시켜야 한다는 것이다.

### 4. 결 론

고강도 강재의 예열기준은 열영향부 균열을 방지하고자 하는 것이고, 층간온도는 용착금속부 균열을 방지하고자 하는 것이다. 열영향부는 모재의 영향이 크게 작용하는 반면 용착금속부는 용접재료의 영향이 크기 때문에, 서로간의 용접성의 차이가 심하면 이들을 개별적으로 고려하여 각각에 대해 명

시할 필요가 있다. 그러나 작업의 간편성을 고려하여 이들을 모두 용접예열로 규정하고자 하면, 초층에서 필요한 예열온도와 다층용접에서 필요로하는 층간온도를 비교하여 보다 높은 쪽을 선정하여야 한다. HY-100강의 경우에는 두께에 따라 선택기준이 달라지는데, 얇은 판재의 경우에는 예열온도가 층간온도 보다 높기 때문에 그대로 사용하여도 무방하지만, 일정 두께 이상에서는 층간온도가 보다 높게 나타나기 때문에 층간온도를 예열온도로 명시하여야 한다. 반면에 HSLA-100강의 경우에는 두께에 관계없이 층간온도가 예열온도 보다 항상 높기 때문에 층간온도를 예열온도 기준으로 선정하여야 한다. 이상과 같은 예열온도 선정 기준은 기 보고된 자료를 토대로 유추한 것임으로 세부적인 사항에 있어서는 실제 실험을 통해 검증하여 볼 필요가 있다.

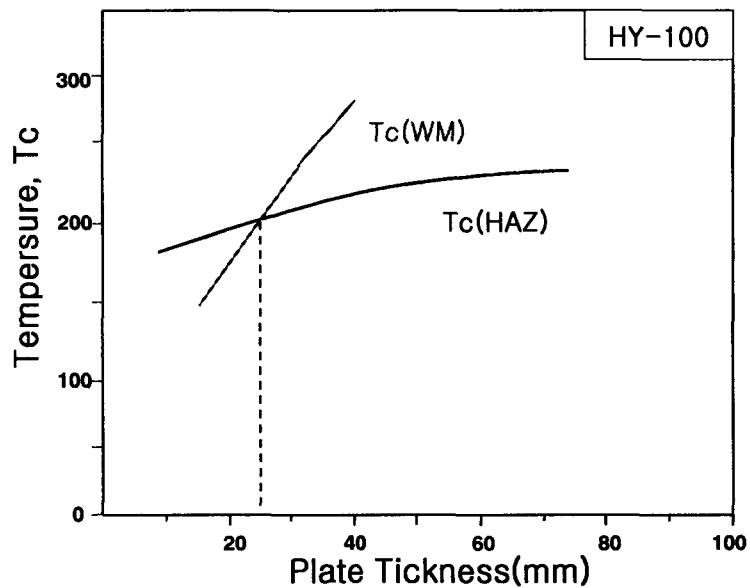


Fig. 1 Effect of plate thickness on preheating ( $T_c(\text{HAZ})$ ) and interpass temperature( $T_c(\text{WM})$ ) for HY-100 steel.

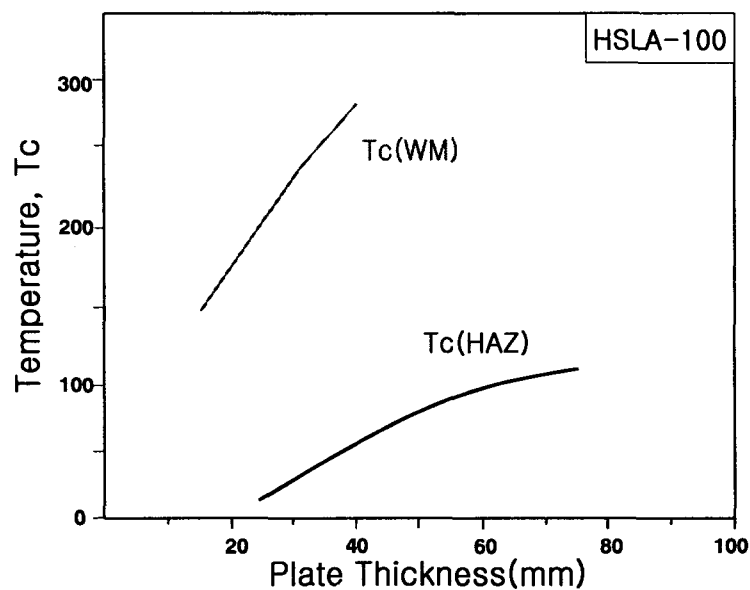


Fig. 2 Effect of plate thickness on the preheating( $T_c(\text{HAZ})$ ) and interpass ( $T_c(\text{WM})$ ) temperatures for HSLA-100 steel.