

# HAZ軟化部를 가진 TMCP型 高張力鋼板의 壓縮最終強度에 관한 研究(第 2 報)

白点基\* · 高在用\*\*

\* 正會員, 釜山大學校 工科大學 造船工學科  
\*\* 學生會員, 釜山大學校 工科大學 造船工學科 碩士課程

## 1. 序言

최근, 船舶 海洋構造物을 비롯한 鋼構造物의 設計 및 建造에 있어서는 대형화 및 경량화추세와 함께 구조재료로서 高張力鋼이 널리 사용되고 있다. 종래의 높은 탄소당량을 가진 高張力鋼의 경우에는 熔接接合部에서의 龜裂發生을 억제하기 위하여 母材보다도 降伏應力이 낮은 軟化部를 설치하고 있으며, 최근에 널리 사용되기 시작한 TMCP型 高張力鋼의 경우에도 탄소당량은 낮으나 大入熱熔接을 수행하면 熔接熱影響部가 軟化되는 현상이 생기고 있다[1,2].

지금까지 高張力鋼의 引張強度, 破壞韌性值, 疲勞強度등에 미치는 軟化部의 영향을 다룬 연구는 다수 보고 되고 있으나[1-2], 軟化部를 가진 高張力鋼板의 壓縮強度에 관한 검토는 거의 행해지지 않고 있다[2].

저자들은 앞선 연구[3]에서 단순지지된 正四角形高張力鋼板을 대상으로 軟化部의 위치 및 크기등이 壓縮最終強度에 미치는 영향을 분석한 바 있다.

본 연구에서는 軟化部를 가진 直四角形板을 대상으로 壓縮最終強度에 대한 熔着金屬部 및 軟化部의 降伏應力의 변화효과와 縱橫比의 영향을 파악하고자 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 저자들이 정식화한 바있는 彈塑性大變形 有限要素解析法[4]을 적용하여 軟化部를 가진 판의 最終強度에 도달하기까지의 비선형 거동을 상세히 해석하였다. 한편, 본 연구에서 대상으로 하는 판의 재료는 50HT 高張力鋼(降伏應力  $\sigma_0=36 \text{ Kg/cm}^2$ )이다.

## 2. 數值計算例 및 考察

### 2.1 軟化部를 가진 高張力鋼板의 解析모델링

本 研究에서는  $a/b=1, 2, 3, 4$  및 5인 板을 대상으로 하며, 細張比( $b/ty\sqrt{\sigma_0/E}$ )는 2.07인 판만을 대상으로 하였다. 또한, 軟化部는 판의 중앙부에 위치하며, 외하중 작용방향과 熔接部 길이방향은 서로 직각방향이다. 軟化部의 幅은 판두께의 4배, 즉  $h/t=4$ 를 설정하였으며, 軟化部의 降伏應力은 母材에 비해 10%, 20% 및 30%로 저하되는 경우를 생각하여 시리즈 해석을 수행하였다.

판의 주변은 單純支持되어 있고 非荷重邊의 면내거동은 자유이며, 외하중은 하중제어방식으로 증분적으로 증가시켰으며, 불평형력은 수정Newton-Rhapson법을 적용하여 소거시켰다. 변형 거동의 대칭성을 고려하여 판의 1/4만을 四節點 四角形板要素로 모델링하였으며, 요소수는 판의 종횡비에 따라 Fig.1에 나타내는 바와 같이 길이방향으로  $m$ 개, 폭방향으로  $n$ 개를 채용하였다. 이때 軟化部에 대해서는 모재부분보다 작은 벌도의 4각형요소로 모델링하였다(Fig.1참조). 본 해석에서는 彈塑性舉動을 塑性節點法을 적용하여 해석하므로 판두께방향의 중요소본합은 행하지 않고 節點은 판두께방향의 중앙 위치에 설정하였다.

한편, 실제 판부재에는 초기처짐이 필연적으로 존재하고 있으며, 그 본포형상은 일반적으로 매우 복잡하나 본 연구에서는 이를 간이화 시켜서 Fig.2와 같이 표시하기로 한다. 이 본포형상은 3角級數로서 나타낼 수 있는데,  $a/b$ 가 3정도인 판에서는 초기처짐성분항을 11개 정도까지 채용하여 壓縮最終強度를 해석하면 실용적으로 충분한 精度的 결과를 얻을 수 있다는 것이 알려져 있다[5]. 이 같은 측면에서 본 연구에서는 Fig.2에 나타내는 3角級數의 1를 縱橫比가 3이 하인 판에 대해서는 11개, 縱橫比가 4이상인 판에 대해서는 15개를 채용하였다. 또한, 본 해석에서는 Fig.2의 초기처짐크기로서  $W_0/t=0.1$ 인 경우만을 대상으로 하였다.

## 2.2. 計算結果 및 考察

Fig.3에는 熔着金屬部의 降伏應力變化的 影響을 나타내고 있다. 이 그림으로 알 수 있는 바와 같이 熔着金屬部의 降伏應力을 HAZ軟化部와 같은 降伏應力으로 설정한 경우는 母材와 같은 降伏應力으로 가정한 경우보다 最終強度를 낮게 평가하고 있다. 본 해석에서는 모델링의 편의상 熔着金屬部도 軟化하는 것으로 가정하여 계산하였으며, 이것은 판의 壓縮最終強度를 다소 안전측에서 평가하게 되므로 설계지침설정의 측면에서 유리하다고 생각된다.

Fig.4에서는 軟化部降伏應力の 변화에 따른 壓縮最終強度를 해석한 결과를 나타내고 있다. 보통 高張力鋼에 大入熱熔接을 수행하게 되면 軟化部의 降伏應力은 母材보다 約 10-30%정도 저하하며, 평균적으로 約 20%정도라는 것이 알려져있다[2]. 여기서는 軟化部의 降伏應力 低下量이 판의 壓縮最終強度에 미치는 영향을 파악하기 위하여 軟化部를 가진 정사각형판에 대해 軟化部의 降伏應力이 모재에 비해 10%, 20% 및 30%로 저하하는 경우의 시리즈 해석을 수행하였다. 이 그림으로 알 수 있는 바와 같이 軟化部의 降伏應力이 저하함에 따라 壓縮最終強度도 크게 저하하고 있음을 알 수 있다. 軟化部의 降伏應力이 母材보다 20%저하한 경우의 壓縮最終強度는 軟化部가 없는 경우에 비해 약 5%정도 저하하였다.

Fig.5에서부터 Fig.9에는 縱橫比의 변화에 따른 판의 破損舉動 解析結果를 나타내고 있다. 먼저, Fig.6 및 8에는 縱橫比가 3인 高張力鋼板( $a \times b = 1500 \times 500$ )의 壓縮最終強度를 해석한 것으로 하중의 증가에 따른 처짐형상의 변화를 상세하게 나타내고 있다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 하중의 증가와 함께 판은 고유의 彈性挫屈모드인 3半波의 처짐형상으로 破損하고 있다.

또한, Fig.6과 8에서는 각각 縱橫比가 2 및 4인 高張力鋼板에 대한 破損形狀을 비교하고 있다. 이 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 縱橫比가 짝수인 판의 破損모드는 고유의 彈性挫屈모드로 처짐형상이 일어나지 않고 1개의 高次모드를 쫓아 가고 있음을 보여주고 있으며, 이것은 가정한 초기처짐본포형상이 1半波가 지배적인데 그 원인이 있다고 생각된다[5]. 또한, 軟化部를 가진 高張力鋼板은 軟化部가 없는 경우보다 塑性化的 진전이 早期에 일어나 壓縮最終強度를 저하시키고 있다.

Fig.5, 7 및 9에서는 縱橫比가 홀수인 경우의 결과이며, 이들 그림으로 부터 縱橫比가 홀수인 경우의 破損모드는 고유의 彈性挫屈모드의 처짐형상으로 나타나고 있으며, 이 경우도 물론 軟化部가 존재하면 소성화가 早期에 일어나고 있음을 알 수 있다.

Fig.10에서는 이상의 결과를 바탕으로 縱橫比의 변화에 따른 高張力鋼板의 壓縮最終強度의 변화를 나타내고 있다. 縱橫比가 짝수인 경우가 홀수인 경우보다 壓縮最終強度가 상대적으로 높게 나타나고 있는데, 이것은 초기처짐 본포형상을 Fig.2와 같이 설정한데 기인된 것으로 여겨진다. 또한, 軟化部의 존재에 따른 壓縮最終強度의 저하량은 軟化部의 폭과 降伏應力值가 일정하면 縱橫比의 변화에 관계없이 거의 일정함을 알 수 있다.

## 3. 結言

본 연구에서는 軟化部를 가진 50HT 高張力鋼板을 대상으로 彈塑性 大變形 有限要素解析을 수행하여 熔着金屬部 및 軟化部의 降伏應力變化和 縱橫比가 판의 壓縮最終強度에 미치는 영향을 고찰하였다. 熔接部는 판의 중앙에서 壓縮力의 작용방향과 직각방향으로 위치하고 있으며, 軟化部의 전체폭은 판두께의 4배를 설정하였다. 이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 熔着金屬部의 降伏應力을 HAZ軟化部와 같은 降伏應力으로 계산할 경우는 母材와 같은 降伏應力으로 가정한 경우보다 最終強度를 낮게 평가하고 있다.
- 2) 軟化部 降伏應力의 저하량이 클수록 판의 壓縮最終強度는 저하한다. 軟化部의 降伏應力이 母材보다 약 20%저하한 경우의 판의 壓縮最終強度는 軟化部가 없는 경우에 비해 약 5%정도 저하하고 있다.
- 3) 軟化部를 가진 鋼板의 壓縮最終強度值는 軟化部의 幅과 降伏應力의 저하량이 동일하면 縱橫比의 변화에 관계없이 거의 동일만큼 저하한다.

參考文獻

- [1] 日本造船研究協會, 第193研究部會報告書, 新製造法による50キロ級高張力鋼の有効利用に關する研究, 1985年 5月.
- [2] 川野 他, TMCP型HT50鋼板熔接継手の曲げおよび壓縮強度に關する検討, 西部造船會會報, 第70號, pp187-198, 1985.
- [3] 白点基, 高在用, HAZ軟化部를 가진 TMCP型 高張力鋼板의 壓縮最終強度에 관한 研究 - 正四角形板-, 대한용접학회, 춘계학술발표회, pp94-96, 1990.
- [4] J.K. Paik and C.Y. Kim, A Simplified Finite Element Method for the Ultimate Strength Analysis of Plates with Initial Imperfections, J. of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 26, No. 1, pp24-38, 1989.
- [5] 白点基, 金建, 複雑한 형상의 초기처짐을 가진 實船 Panel의 壓壞強度簡易 推定法, 大韓造船學會誌, 제25권 제1호, pp33-46, 1983.

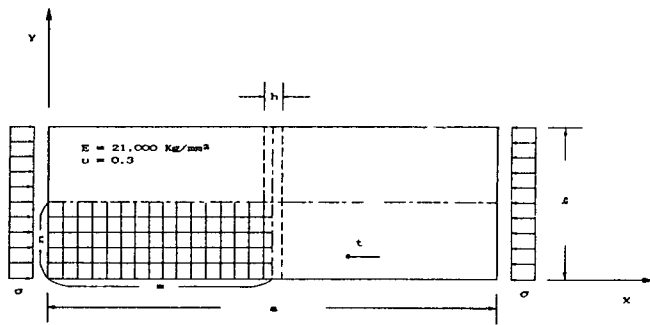


Fig. 1

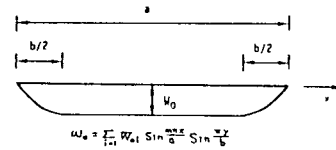


Fig. 2

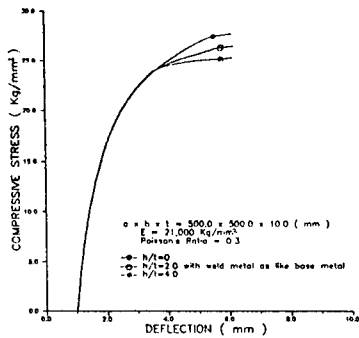


Fig. 3

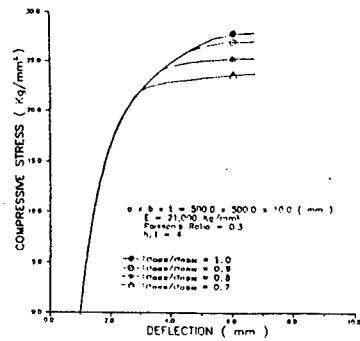


Fig. 4

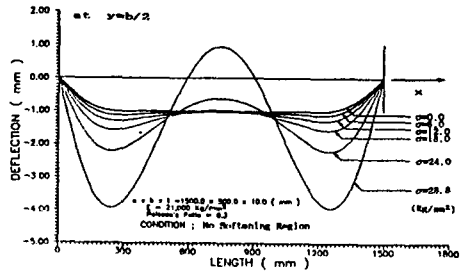


Fig. 5

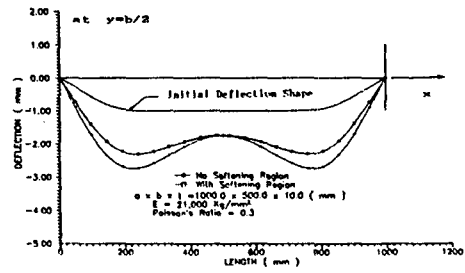


Fig. 6

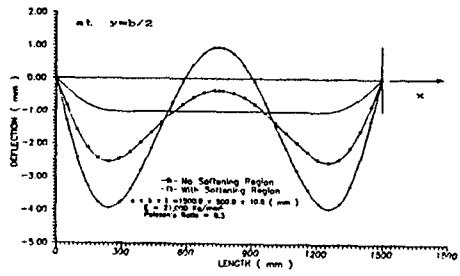


Fig. 7

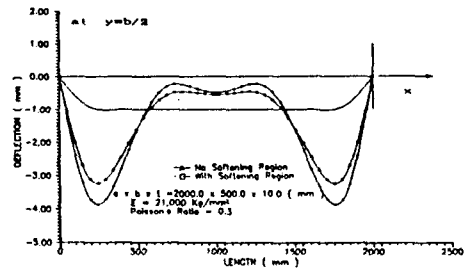


Fig. 8

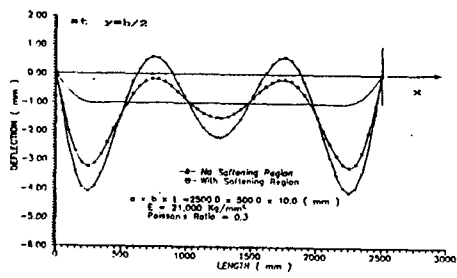


Fig. 9

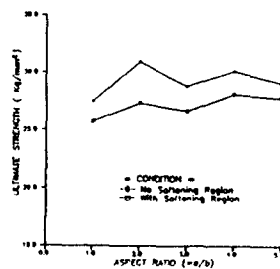


Fig. 10