

HAZ軟化部를 가진 TMCP型 高張力鋼板의 壓縮最終強度에 관한 연구

白 点 基* · 高 在 用**

* 正會員. 釜山大學校 工科大學 造船工學科

** 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를 비롯한 각종 鋼構造物의 건조시에는 구조경량화의 요구와 함께 高張力 鋼의 사용이 급속히 증가하고 있다. 그런데, 종래의 高張力 鋼은 강도를 향상시키기위해 延鋼에 비해 炭素當量을 크게 함으로써 熔接部 韌性低下 등의 문제를 가지고 있었으나, 최근의 TMCP型 高張力 鋼은 水冷型의 制御 延延을 통하여 제조함으로써 炭素當量을 낮게 하면서도 熔接性을 크게 향상시킬수 있게 되어 船舶 및 海洋構造物 등의 구조재료로서 각광을 받고 있다.

그러나, TMCP型 高張力 鋼의 경우도 熔接施工 能率을 향상시키기위해 大入熱熔接을 수행하게되면 熔接熱影響部(HAZ)에 軟化現象이 발생하여 熔接接合部의 강도를 저하시키는 등의 문제점이 제기됨으로써 TMCP型 鋼材를 실제구조물에 본격적으로 채용하고자하는 측면에서 해결해야할 중요한 과제로 다루어져왔다[1,2]. 특히, 板部材는 面內荷重에 인디는 構造部材로서 構造設計시에는 彈塑性屈服強度 또는 最終強度가 기본적인 설계기준이 되고 있는데, 板部材에 軟化領域이 존재하면 最終強度值의 저하가 예상된다.

이상의 측면에서 지금까지 각종 強度에 대한 軟化部의 영향을 평가하기위한 연구가 다수 수행되어왔다[1,2]. 그러나, 아직도 이들 문제점들이 명확하게 규명되어 있다고말하기 어려운 실정이며, 더욱이 Fig.1에 나타내는 바와같이 熔接方向 및 位置와 하중작용방향이 달라지면 部材強度에 미치는 軟化部의 영향도 달라지리라 예상되지만 이에 관한 연구는 全無하다.

TMCP鋼板을 實際構造物의 건조시에 유용하게 적용하기위하여는 이같은 문제점을 사전에 충분히 검토하여 合理的인 設計指針을 확립해 둘 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 大入熱熔接결과 HAZ軟化部를 가진 TMCP型 50HT鋼板(降伏應力 $\sigma_0=36\text{kg/mm}^2$)을 대상으로 面內壓縮力을 받는 경우의 最終強度에 대한 HAZ軟化部의 영향을 彈塑性大變形有限要素解析을 수행하여 정량적으로 고찰하고자 한다.

2. 大入熱熔接에 의한 TMCP型 50HT의 HAZ軟化

川野等[2]의 실험결과에 의하면 TMCP型 50HT鋼板에 大入熱熔接을 수행했을때 발생하는 HAZ軟化領域은 炭素當量이 낮을수록 크며, HAZ部의 降伏應力은 母材의 降伏應力의 약80%정도까지 저하하고 軟化部의 폭은 熔接金屬의 양편에 판두께 정도가 존재하고 있다(H/t=2, H:軟化部幅 t:板두께).

따라서, 본 연구에서도 연구대상인 TMCP型 高張力 鋼板은 기본적으로 HAZ部의 降伏應力이 母材에 비해 약 20%정도 저하하여 $\sigma_0=28.8\text{kg/mm}^2$ 이라고 가정한다. 또한, 軟化部의 폭은 壓縮最終強度에 대한 영향을 비교검토하기위해 H/t=0-4를 설정하기로 한다.

3. 彈塑性大變形 有限要素解析法의 概要

본 연구에서는 著者중의 한사람이 개발한 彈塑性大變形 有限要素解析法[3]을 적용하여 HAZ軟化部를 가진 TMCP鋼板의 壓縮最終強度를 해석한다. 본 해석법에서는 四角形板要素를 이용하여 Updated Lagrangian 기법을 바탕으로 幾何學的 非線形性을 정식화하고 있으며, 塑性 등의 材料的 非線形性은 塑性節點法[4]을 적용하여 다루고 있다. 또한, 不平衡力에 대한 收斂計算은 修正Newton-Rapson법을 적용하여 수행하며[5], 실제해석시에는 초기처짐과 熔接殘留應力의 영향도 고려할수 있도록 하고 있다. 한편, 이상과같이 정식화된 해석이론을 바탕으로 컴퓨터프로그램 EPLDA[6]를 개발하였으며, 본 연구에서는 EPLDA프로그램을 적용하여 TMCP鋼板의 彈塑性大變形舉動을 해석한다.

4. 最終強度解析결과 및 고찰

4.1 HAZ軟化部를 가진 TMCP型 高張力鋼板의 解析모델링

본 연구에서는 Fig.2에 나타내는 바와같이 임의폭의 軟化部를 가진 單純支持된 正四角形의 TMCP鋼板($a \times b=500 \times 500\text{mm}$)이 한방향으로 면內압축력을 받는 경우의 彈塑性大變形舉動을 해석한다.

여기서는 변형거동의 대칭성을 고려하여 판의 1/4만을 四角形要素로 모델링하였으며, 탄소성거동은 塑性節點法을 적용하여 해석하므로 판두께방향의 중요소본할은 행하지 않고 節點은 판두께방향의 중앙위치에 설정하였다. 要素數는 참고문헌[5]의 결과를 바탕으로 기본적으로 5x5를 채용하고, HAZ軟化部에 대하여 별도의 四角形要素로 모델링하였다. 또한, 판에는 일반적으로 초기처짐이 필연적으로 존재하고 있으므로 본 연구에서는 판두께의 10%정도의 初期처짐($w_0/t=0.1$)이 존재한다고 생각하여 해석하였다.

軟化部의 폭은 H/t=0-4의 범위에서 변화시켰으며, 母材와 軟化部의 降伏應力은 각각 $\sigma_0=36\text{kg/mm}^2$ 및 $\sigma_0=28.8\text{kg/mm}^2$ 이다. 또한, 彈性係數는 $E=21000\text{kg/mm}^2$, 포와손比=0.3이라고 가정하였다. 한편, 본 연구에서는 용접부위치와 하중방향으로서 Fig.1의 Case A 및 Case B만을 대상으로하였다.

4.2 解析結果 및 考察

Fig. 3에는 Fig. 1의 Case A와 같이 용접부는 판의 중앙에 위치하고 하중은 용접부와 평행한 방향으로 작용하는 경우, $b/t\sqrt{\sigma_0}/E = 1.5$ 인 비교적 두꺼운 TMCP형 50HT鋼板을 대상으로 軟化部幅을 변화시켜 수행한 彈塑性大變形解析 결과를 나타내고 있다. 이들결과에 의하면 판에 軟化領域이 존재하면 하중의 증가와 함께 소성화의 생성이 早期에 일어나고 이경향은 軟化部幅이 클수록 크며, 그 결과 最終強度值도 저하한다. 본 해석에의 경우 最終強度值은 軟化領域이 $H/t=0$ 및 4일때를 비교한 결과 최대 8%정도가 저하하였다.

다음으로, Fig. 4에는 Fig. 1의 Case B 경우에 대한 해석결과를 나타내고 있으며, 이 경우도 Fig. 3과 유사한 경향을 나타내고 있다는 것을 알 수 있다. 또한, Fig. 5에는 軟化部幅의 증가에 따른 最終強度值의 변화를 熔接部의 위치를 바꾸어 해석한 결과를 비교하고 있다. 이그림으로부터 最終強度值의 最大低下量은 Case A의 8%에 비해 Case B는 약 4%정도로서 그 저하량이 상대적으로 적다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6 및 7에는 最終強度值의 저하에 대한 판두께의 영향을 파악하기 위해 각각 Case A 및 Case B에 대해 각각 3종류의 판두께에 대한 最終強度해석결과를 나타내고 있다. 이그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 판두께가 얇아질수록 軟化領域의 존재에 따른 最終強度值의 저하경향은 감소하고 있으며, 薄板의 경우는 軟化領域의 영향은 거의 없다.

5. 結言

본 연구에서는 周邊單純支持된 正四角形의 TMCP형 50HT鋼板을 대상으로 有限要素法에 의한 彈塑性大變形解析을 수행하여 HAZ軟化領域의 영향을 정량적으로 고찰하였다. 용접부는 판의 중앙에 위치하고 압축력이 용접부와 평행 또는 직각방향으로 작용하는 경우를 대상으로 하였으며, 연화부의 降伏應力은 母材에 비해 20%정도 저하하며, 전체적인 軟化部幅은 판두께의 4배정도의 범위를 대상으로 하였다. 이상의 해석결과, 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 軟化領域의 증가와 함께 塑性化의 진전이 早期에 일어나고 壓縮最終強度도 저하하며, 본 해석에의 경우, 최대 8%정도까지 最終強度值가 저하하였다.
- 2) 壓縮最終強度는 熔接部의 위치가 하중방향과 직각일때가 평행일때보다 크게 저하한다.
- 3) 壓縮最終強度에 대한 軟化領域의 영향은 厚板의 경우에는 크게 나타나지만 薄板의 경우는 거의 무시할 수 있다고 생각된다.

끝으로 본 연구에서는 正四角形板만을 대상으로 하였으나 실제구조물에서는 縱橫比가 큰 板部材가 사용되고 있으므로 이에 대한 연구가 필요하며, 熔接部가 판의 周邊에 위치하는 경우에도 더 많은 연구가 필요하다고 사료된다. 또한, 본 연구에서는 軟化部의 降伏應力저하를 20%로 설정하였으나 이의 저하량이 변화하는데 따른 효과에 대해서도 규명할 필요가 있다.

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キ口級高張力鋼の有効利用に関する研究, 1985년 5월.
- [2] 川野 他, TMCP型HT50鋼板熔接繼手の曲げおよび壓縮強度に関する検討, 日本西部造船協會論文集, 第70號, 1985년 5월.
- [3] 白点基, 金昌烈, 初期缺陷을 가진 板의 最終強度解析을 위한 簡易有限要素法, 大韓造船學會, 第26卷 第1號, 1989년 3월.
- [4] Y. Ueda and T. Yao, The Plastic Node Method: A New Method of Plastic Analysis, J. of Computer Methods in Applied Mechanics and Engineers, Vol. 34, No. 1-3, 1982.
- [5] 白点基 外, 板部材의 彈塑性大變形有限要素解析問題에서의 收斂技法에 관한 考察, 韓國電算構造工學會, 第2卷 第3號, 1989년 9월.
- [6] 白点基, EPLDA使用說明書, A Computer program for Elastic-Plastic Large Deflection Analysis of Imperfect Plates, 釜山大學校 造船工學科 研究報告書, Report No. NA/SE-89-01, 1989.

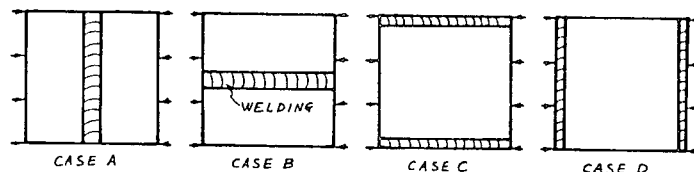


Fig. 1

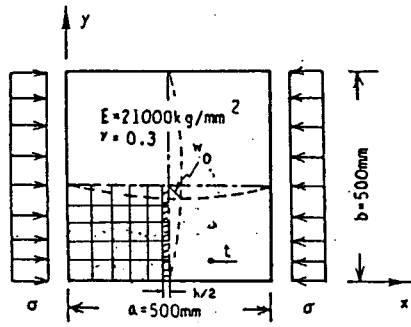


Fig. 2

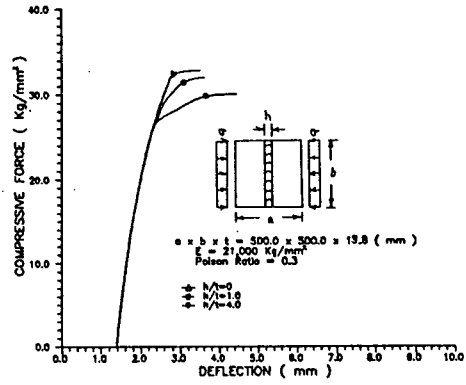


Fig. 3

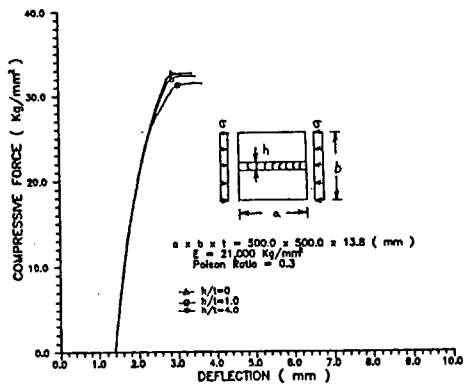


Fig. 4

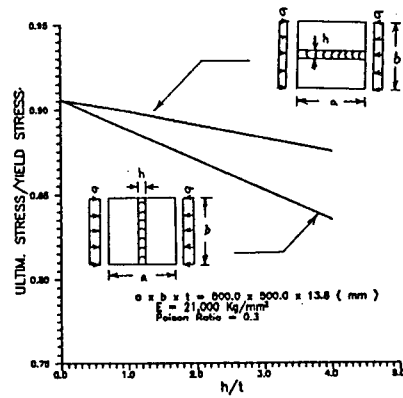


Fig. 5

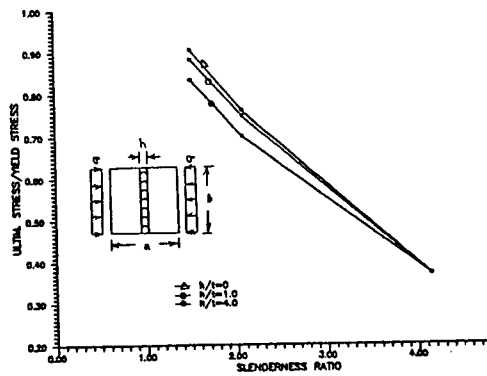


Fig. 6

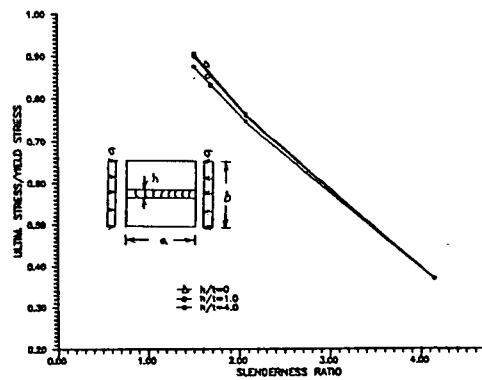


Fig. 7