

고장력강 용접이음부의 용접응력 및 열 분포 특성에 관한 연구

A study on the Characteristics of welding stresses and Thermal Profiles for Weld Joint of High Tensile Steel

방한서*, 임래수**

* 조선대학교, 선박해양공학과

** 조선대학교, 선박해양공학과 대학원

1. 서론

최근의 선박, 해양구조물 및 철교 등의 강구조물 건조 현장에서는 대형화, 경량화가 이루어지고 있으며 재료비 감소, 시공에너지 절약, 공정수 절감 등의 경제적 측면을 고려하여 고장력강의 사용이 빈번하다. 고장력강은 연강의 강도를 높이고 구조물의 중량을 가볍게 하며 강의 두께저하에 따른 용접공정수를 줄일수 있어 산업현장에서 경제성을 확보할 목적으로 연강대신 대량으로 사용하는 용접구조용강이다.

한편, 고장력강에 대한 연구는 용접성분야에 대해서는 상당한 수준에 이르러 있고 빈번히 이루어지고 있고, 강도분야에서도 파괴강도 및 균열 분야에서는 상당한 수준의 연구가 진행되고 있으나 온도분포 특성 및 용접응력분포 등의 역학적 제특성에 대한 기초적 연구가 미흡한 실정이므로 본 논문에서는 고장력강의 온도분포 및 용접응력등에 대한 역학적 특성을 파악하기 위하여 연강의 경우와 비교 분석하여 규명하고자 하였으며, 현장에서 사용하는 경우 Multi Pass가 많이 이용되므로 이에 대한 규명도 필요하여 수치해석은 Single Pass와 Multi Pass에 대하여 수행하여 비교분석을 통한 역학적특성을 규명하였다.

또한, 이를 근거로 파괴강도 연구시 기본자료 및 고장력강의 용접설계시 기초자료로 사용하고자 하였다.

따라서, 2차원 비정상 열전도 해석을 통하여 열전도 특성을 파악하고, 2차원 열탄소성 해석을 통하여 잔류응력 및 변형, 소성일등을 파악하고자 하였다.

2. 해석모델 및 해석방법

고장력강의 용접응력 및 열분포 특성을 파악하기 위해 연강과 고장력강을 사용하여 맞대기 및 필릿 용접이음부에 대하여 수치해석을 수행하였다.

본 연구에서 사용한 재료는 연강의 경우에는 SWS 490B를 사용하였으며 고장력강은 HT80계열의 것을 사용하였다.

용접방법은 서브머지아아크 용접으로하였으며, 용접시 일정시간이 지난후에는 용접부는 준정상역이 되므로 모델의 중앙단면에 대해 순간열원 효과를 고려하여 비정상 열전도 해석을 수행하였으며, 이들 결과로 얻은 온도분포를 입력 데이터로 하여 평면변형이론에 의한 2차원 열탄소성 해석을 수행하였다.

Table 1. 및 Table 2.는 각각 SWS490B와 HT 80의 화학적 조성을 나타낸다.

Table 1. Chemical compositions of welding electrode and base metal (490B)

Chemical composition	C	Mn	Si	P	S	Cu	Al
Electrode	0.12	1.96	0.03	0.017	0.014	0.19	-
Base metal	0.13	1.36	0.35	0.24	0.11	-	0.31

2.1 Butt-Joint of Single V Groove Weld

해석을 수행한 맞대기 용접이음부의 시험편의 크기는 용접시 용접부의 역학적 조건 즉 수축 및 팽창의 영향을 받지 않는 최소크기인 길이 700mm, 폭 400mm, 두께 30 mm로 하였

Table 2. Chemical compositions of welding electrode and base meta (HT 80)

Chemical composition	C	Mn	Si	P	S	B	Mo	Nb
Electrode & Base metal	0.18	1.50	0.55	0.025	0.025	0.005	0.50	0.05

으며 루트 갭은 0, 루트페이스는 2mm 개선각은 각종 선급 및 AWS 규격중 최대인 70° 로 하였다. Single Pass와 Multi Pass(3Pass / 2Layer)에 대하여 각각 수치해석을 수행하였다. 요소분할은 4절점 아이소 파라미터를 도입하여 4절점 사각형 요소를 사용하여 총요소수 2088개, 총 절점수 2190개로 분할하였다. 경계조건은 좌우 대칭성을 고려하여 상표면 중앙부를 좌우로 구속하고 하표면 중앙부를 상하좌우로 구속하였다.

Fig 1.은 맞대기 용접이음부 모델의 크기이다.

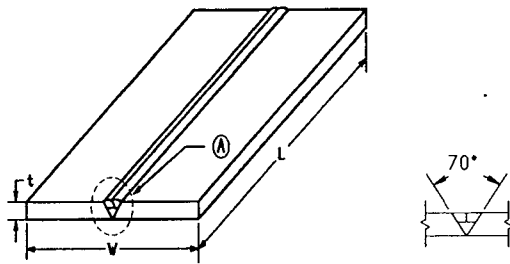


Table 3. Model size

Length (L)	700 mm
Width (B)	400 mm
Thickness (T)	30 mm
Root face	2 mm
Groove angle	70 °

Fig 1. A Model for the Analysis of Butt Welded Joint

2.2 T-Joint of Double Groove Weld

해석모델은 I형 부재의 상하 대칭성을 고려하여 한쪽만 고려한 양면 개선 필릿용접이음부를 선택하였으며 루트갭이 존재하지 않는 양면 필릿용접을 해석하기 위해 Web를 K형으로 개선하였다. 개선각의 크기는 KS. 규격에 의거 45° 로 하였다. Single Pass와 Multi Pass(2 Pass / 2 Layer)에 대하여 각각 수치해석을 수행하였다. 요소분할은 4절점 아이소 파라미터를 도입하여 4절점 사각형 요소와 4절점 삼각형 요소를 사용하여 총요소수 1168개, 총 절점수 1224개로 분할하였다.

경계조건은 웨브의 대칭성을 고려하여 웨브 상단의 좌우를 구속하고 플레이트 하표면의 중앙부를 상하좌우로 구속하였다. Fig 2. 는 모델의 형상이다.

3. 수치해석 결과

Fig 3.은 연강과 고장력강의 냉각과정에 발생하는 온도에 따른 응력의 재생성 과정을 나타낸 것이다. Fig 3.에서 보는 바와 같이 모재의 경우에는 서서히 가열되어 냉각되므로 이에 따라 잔류응력이 재분포 해 가는 과정을 잘 나타내 주고 있다. 고장력강의 경우 연강에 비하여 온도가 그렇게 높게 나타나지 않고 좁은 온도 영역에서 급속하게 응력이 재생성됨을 볼수 있다.

용접잔류응력은 용접선 방향의 응력이 크기가 가장크고 또한 다른 성분은 이에 지배를 받는 경향을 나타내므로 용접선방향의 응력만을 대상으로 한다.

Table 4. Model size

Length of Plate & Web (L)	700 mm
Width of Web (Ww)	220 mm
Width of Plate (Pw)	400 mm
Thickness of Web (Wt)	20 mm
Thickness of Plate (Pt)	30 mm
Groove angle	45 °

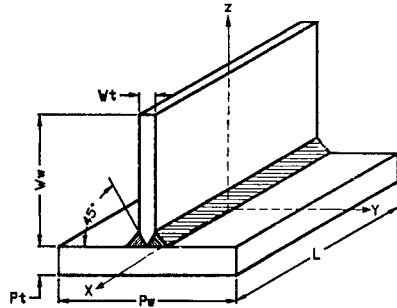


Fig 2. A Model for Analysis of T-welded Joint

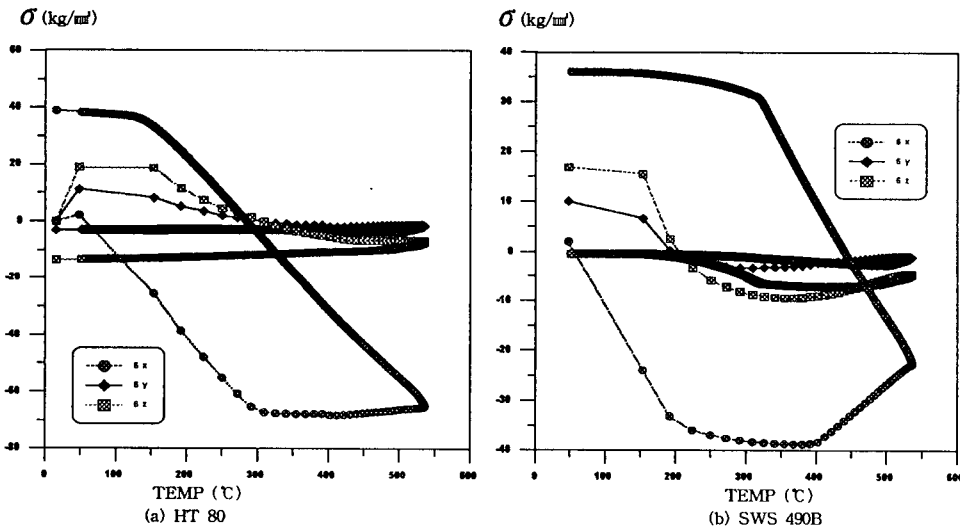


Fig 3. Stresses according to Temperature

Fig 4.는 Butt 용접이음부의 용접잔류응력중 최대응력이 생성되는 모델 두께의 표면으로부터 삼분의 일이 되는 지점(21 mm)의 응력의 최종 패스만을 그린 것이다. 그림과 같이 연강의 잔류응력은 용착금속과 열영향부에서는 비슷한 값을 가지며, Single Pass 와 Multi Pass를 살펴보면 Multi Pass인 경우가 최종Pass 가 이루어진 부분의 응력이 더 크게 분포됨을 알 수 있다. 이는 Single Pass 의 경우 용착 면적이 넓어 온도 냉각이 완만히 이루어 지는데 반하여 Multi Pass의 경우에는 용착면적이 협소하여 냉각과정중에 대량의 열전도도 인하여 급격히 냉각되기 때문인 것으로 사료된다.

한편 그림의 Multi Pass의 경우를 자세히 보면 선행 Pass에 의해 용착된 부분의 응력이 최종 Pass 용착부 보다 잔류하는 응력이 적게 분포되는 것은 후행 Pass 시의 입열의 영향에 의해 선행 Pass 용착지의 응력이 완화 되었기 때문인 것으로 생각된다.

고장력강의 경우에도 동일한 양상을 보이고 있으며 고장력강의 경우 열영향부가 끝나는 지점에서 응력값의 불규칙성이 발견되는데 이는 열영향부와 인접모재에서는 온도구배가 매우 심하게 나타나기 때문인 것으로 사료된다.

Fig 5.는 연강과 고장력강을 사용한 Fillet 용접이음부의 Single Pass와 Multi Pass 에 대

한 잔류응력의 분포를 나타낸 그림이다. 잔류응력을 해석한 위치는 Plate부분의 최대응력이

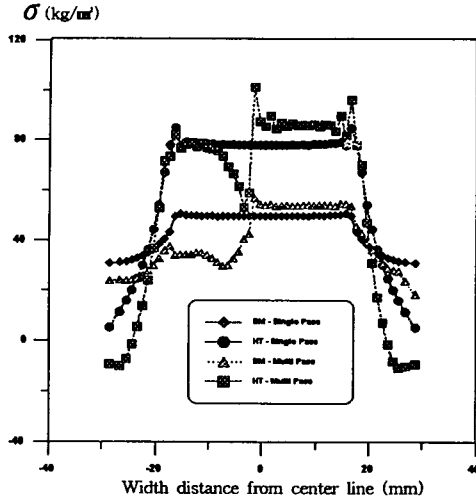


Fig 4. Welding residual Stress σ_x

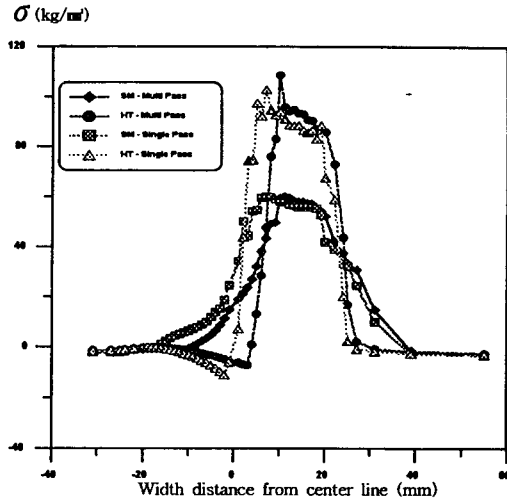


Fig 5. Welding residual Stress σ_x

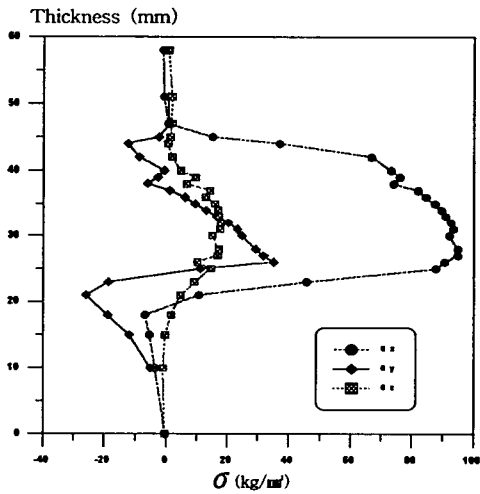


Fig 6. Welding residual Stress

Plate 상 표면으로부터 3mm되는 지점을 그린 것이다.

연강의 경우에는 최대응력이 분포하는 부분 이후 서서히 응력이 감소하는데 비하여 고장력강은 상대적으로 높은 잔류응력이 약간 넓게 분포하다가 급격히 응력이 저하하는 것을 볼 수가 있다. Multi Pass의 경우가 Single Pass인 경우보다 적은 잔류응력 분포를 나타내고 있다.

그리고 Web가 존재하는 쪽의 응력이 Plate 양단 쪽으로 가는 경우 보다 큰 응력 분포를 나타내고 있다.

Fig 6.은 Single Pass의 Plate의 두께방향과 Web의 폭방향 응력을 나타낸 것으로 web 우측 표면으로부터 3mm 되는 지점이다. 폭방향 및 두께방향의 응력은 용접선방향의 응력과 비슷한 양상을 보이고 있으며 최대응력은 Plate 표면으로부터 3 - 5 mm 되는 지점에서 나타남을 알 수 있다. 또한 용착이 끝나는 부분에서는 약간 불규칙적인 응력이 발생함을 알 수 있었다.

4. 결론 및 고찰

이상의 결과를 종합해 보면

1) 용접이음부에 잔류하는 응력은 재료의 항복, 인장강도에 비례하여 분포하는 양상을 나타내었다.

- 2) 고장력장은 연강에 비하여 열전도율등이 상대적으로 커서 열전도, 열전달이 급속히 이루어져 열영향부의 영역이 좁고 요소들은 급격히 가열되고 급속히 냉각하였다.
- 3) 고장력장의 경우에는 잔류하는 응력이 대부분이 연강에 비하여 상대적으로 넓게 분포하지만 그 인접요소에서는 응력이 저하하는 것이 연강에 비하여 구배가 컸다.
- 4) Single Pass인 경우가 Multi Pass인 경우보다 잔류하는 응력의 크기가 작게나타난 것은 Single Pass인 경우가 입열량이 커서 급격한 가열 및 냉각등으로 더 혹독한 온도구배를 나타내기 때문인 것으로 생각된다.
- 5) Multi Pass시 후행 Pass에 의해 선행 Pass시의 응력을 완화 시켜 주기 때문에 작은 응력분포를 나타낸 것으로 생각한다.

5. 참고문헌

- 1) 佐藤 , 向井, 豊田 : 溶接工學, 理工學社(第1版), 1979
- 2) 房漢瑞, 金裕哲 ; 有限要素法에 의한 厚板熔接時의 3次元 非定常 熱傳導解析, 大韓熔接學會誌, 9-2, 1991, 37-43
- 3) 방한서 : 후판용접부의 역학적 특성. 大韓熔接學會誌, 10-4(1992), 37-43
- 4) 房漢瑞, 金鍾明 “厚板鋼構造物 熔接이음부의 열분포 특성에 관한연구” 대한용접학회 제13권 제1호, pp.138-144 , 1995
- 5) Yukio Ueda, Kunihiko SATOH, and Hiroshi KIHARA, "Recent Trend of Researches on Restraint Stresses and Strains for Weld Cracking, Trans. of JWRI, Vol. 1 No. 1, 1972, pp.53-68.
- 6) Yukio Ueda and You chul KIM, " Dynamical Aspect of Cold Cracking Parameter", Trans. of JWRI, Vol. 13 No. 1, 1984, pp.77-86.