

외력을 고려한 양면 필릿용접이음부 루트갭의 영향에 관한 연구

A Study on the Effect of Root Gap of Double Fillet Welded Joint Considering External Forces

방한서*, 김성환**

* 조선대학교 선박해양공학과

** 조선대학교대학원 기계공학과

ABSTRACT In this paper distribution of welding residual stress on the double fillet welded joint which exists and not exists root gap, i.e. full penetration and partial penetration is investigated by two dimensional conduct and thermal elasto-plastic analysis. And stress distribution on notch-tip of the structure where welding residual stress regarded as initial stress and then external load is added is also investigated.

1. 서 론

현재 양면필릿용접시 웨브의 개선가공은 강도측면에서 요구되고 있으나 이것은 용착량 및 공정수 등의 증가로 인해 경제적 측면에서 보면 불리하게 된다. 그러므로 강도상 크게 문제점이 없다면 개선가공하지 않는 것이 경제적으로 유리하게 된다.

따라서 본 연구에서는 K형 개선을 가공한 완전용입의 경우와 개선가공을 하지 않은 I형 개선 즉, 루트갭이 존재하는 불완전 용입에 대한 해석을 수행하여 양면 필릿용접이음부 및 루트부 노치선단에 잔류하는 응력의 특성을 파악하고, 또한 외력의 영향으로 인해 루트부 노치에 작용하게 될 응력의 특성을 파악하여 이들 구조물의 용접이음부의 강도특성을 규명하고자 하였다.

이를 위하여 우선적으로 잔류응력분포 특성을 2차원 열전도 및 2차원 열탄소성 이론에 입각한 유한요소 해석을 통하여 분석하고, 그후 여기서 얻어진 용접잔류응력을 초기응력으로 하여 외력에 의해 부가적으로 작용하는 응력의 분포특성을 해석하고자 하였다.

2. 해석모델 및 해석 방법

해석모델은 I형 부재의 상하 대칭성을 고려하여 한쪽만 고려한 양면 T이음부를 선택하였다. 첫 번째 모델은 루트갭이 존재하지 않는 양면 필릿용접의 해석을 위해서 K형개선 multi-pass용접한 완전용입된 T이음부를 해석대상으로 선정하였고, 두번째는 루트갭이 존재하는 경우에 대한 해석을 위하여 I형개선 2패스/2층 불완전 용입부를 선정하였고, 또한 multi-pass와 single pass의 경우를 상호 비교하기 위해 1패스/1층 용접한 경우에 대해서도 해석을 수행하였다.

이것을 Table 1에 나타내었고, Fig. 1은 모델의 크기를 나타낸 것이다. 그리고 시험편 재료는 현장에서 가장 일반적으로 사용하고 있는 연강을 사용하였고, 용접은 효율면에서 우수한 서브머지드 아크용접(Submerged arc welding)을 수행하였다.

Length of model (L)	: 600mm
Width of web (Ww)	: 170mm
Width of flange (Fw)	: 300mm
Thickness of web (Wt)	: 20mm
Thickness of flange (Pt)	: 30mm
Weld size (l)	: 16mm

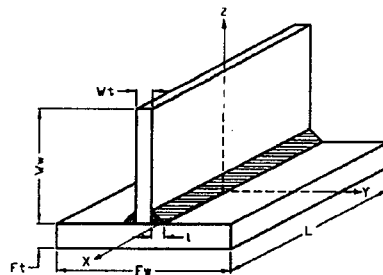


Fig. 1 Model for analysis

Table 1 Model for analysis

Model			
Root gap(mm)	0	0.5	0.5
Length of gap(mm)	-	19	19
Groove angle(°)	60	0	0
Pass/Layer	3pass/2layer	2pass/2layer	1pass/1layer

해석은 2차원 열전도 및 2차원 평면변형 열탄소성 유한요소 프로그램을 이용하여 잔류응력 분포특성을 파악하였고, 그후 이들 잔류응력치를 초기응력으로 하여 인장력을 가했을 경우에 대해 응력을 해석하였다.

요소분할은 4절점 아이소 파라미터를 도입하여 4절점 사각형 요소와 4절점 삼각형 요소를 사용하여 총요소수 1592개, 총절점수 1096개로 분할하였다. Fig. 2는 요소분할을 나타내며, 여기서 Fig. 2(b)는 노치선단의 요소분할 및 노치의 곡률반경을 나타낸다. 경계조건은 웨브의 대칭성을 고려하여 웨브 상단의 중앙부를 좌우로 구속하였고, 플랜지 하표면의 중앙부를 상하 좌우로 구속하였다. 또한, 주요 해석위치는 시험편의 플랜지 상표면에서의 깊이 3mm인 지점과 루트부의 노치선단(Fig. 2(a)의 ㉔지점)으로 하였다.

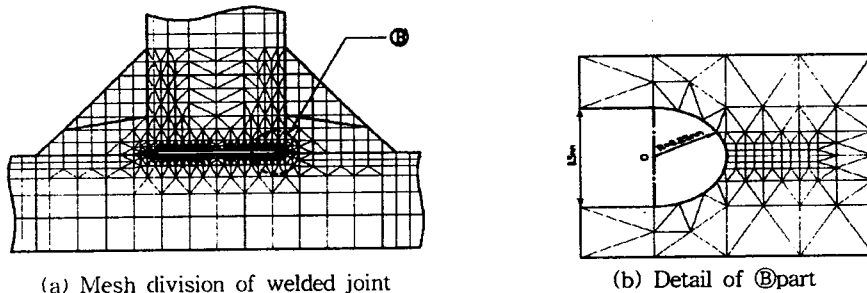


Fig. 2 Mesh division for analysis

3. 해석결과 및 고찰

3. 1 용접잔류응력 해석 결과

이상의 방법을 통하여 루트갭이 존재하지 않는 K형개선 완전용입 용접에 대한 해석 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3(a), (b)는 플랜지 폭에 걸쳐 분포하는 각 패스별 잔류응력을 나타낸 것이다.

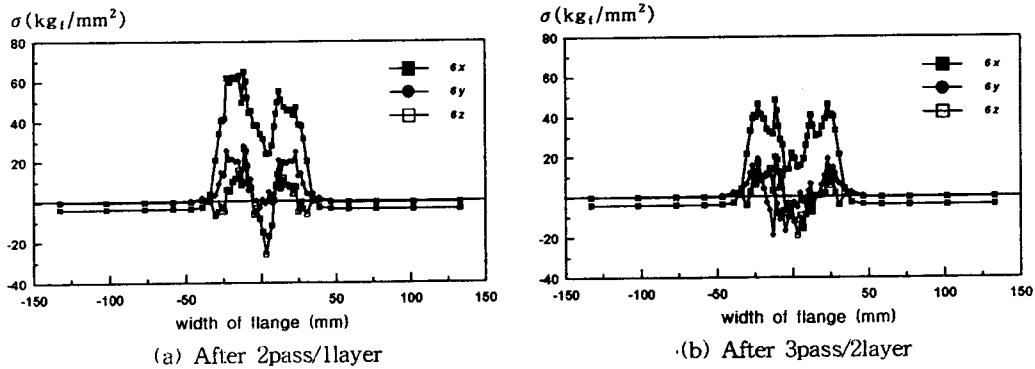


Fig. 3 Distribution of welding residual stresses in 3pass/2layer welding

여기서 σ_x 는 용접선방향의 응력, σ_y 는 플랜지 폭방향응력, σ_z 는 플랜지 두께방향응력을 나타낸다.

이들 결과를 보면 선행패스후에 잔류하는 응력들이 후행패스시에 재분포함을 알 수 있는데 이것은 후행용접시의 입열의 영향에 의한 응력의 재분포 특성을 보여준다.

또한, Fig. 4와 Fig. 5는 갭이 0.5mm인 경우에 대한 multi-pass용접과 single pass용접에 대한 해석 결과이다. 여기서는 single pass의 경우가 응력이 다소 크게 분포함을 알 수 있다.

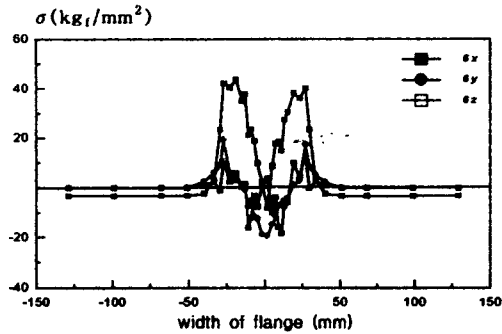


Fig. 4 Welding residual stress in 2pass/2layer welding (root gap = 0.5mm)

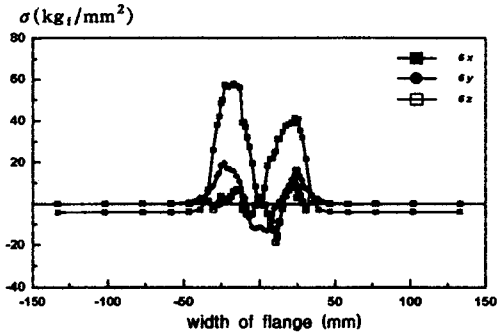


Fig. 5 Welding residual stress in 1pass/1layer welding (root gap = 0.5mm)

3. 2 외력을 고려한 응력해석 결과

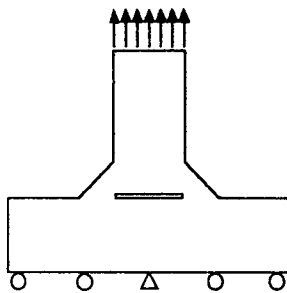
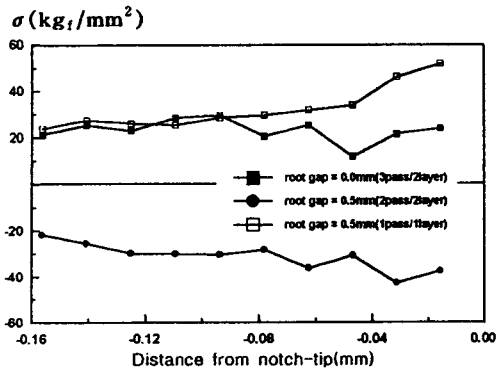


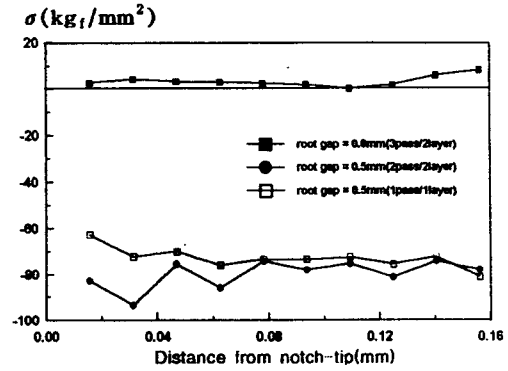
Fig. 6 Load and restraint condition for stress analysis

본절에서는 용접잔류응력을 초기응력으로 갖고 있는 구조물에 외력을 가했을 경우에 있어서 구조물에 작용하는 응력의 크기를 파악하고자 하였다. 즉, 앞절에서의 해석방법으로 루트부 양측 노치선단의 잔류응력을 파악하고, 여기에 부가적으로 Fig. 6과 같은 구속조건과 인장력(인장력의 크기는 500kgf이다)에 의한 응력이 작용할 경우의 그 응력의 크기를 양측 노치선단에서 분석하였다. 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 이것은 각 노치선에서 0.16mm떨어진 곳까지의 응력성분 σ_z 의 분포를 나타낸다.

또한, Fig. 8은 용접에 의한 상당잔류응력을 나타낸 것이며, Fig. 9는 Fig. 7과 같은 용접잔류응력이 초기응력으로 존재할 경우, 인장력을 가했을 때 구조물에 작용하는 응력상태를 나타낸 것이다. 그리고 Fig. 10은 동일한 상태에 대한 상당응력을 나타낸 것이다.

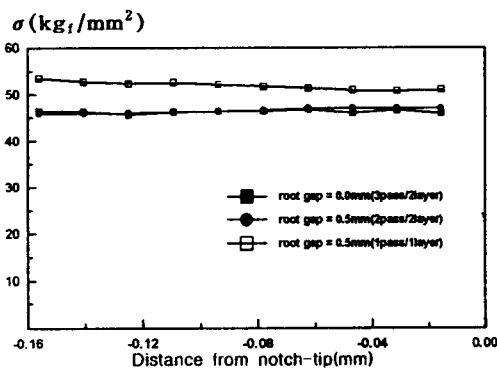


(a) Left side of notch

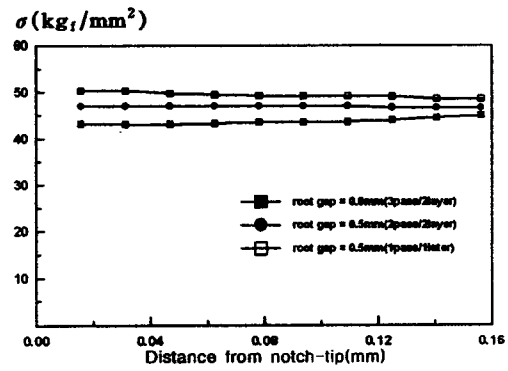


(b) Right side of notch

Fig. 7 Distribution of welding residual stress σ_2 in the notch-tip

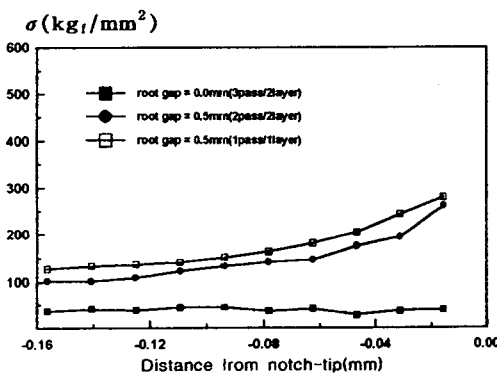


(a) Left side of notch

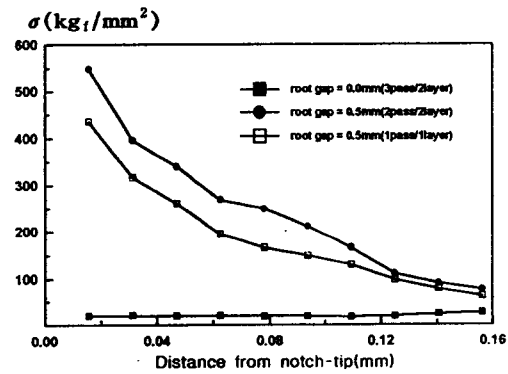


(b) Right side of notch

Fig. 8 Distribution of equivalent residual stress $\bar{\sigma}$ in the notch-tip



(a) Left side of notch



(b) Right side of notch

Fig. 9 Distribution of stress σ_2 due to welding and tension in the notch-tip

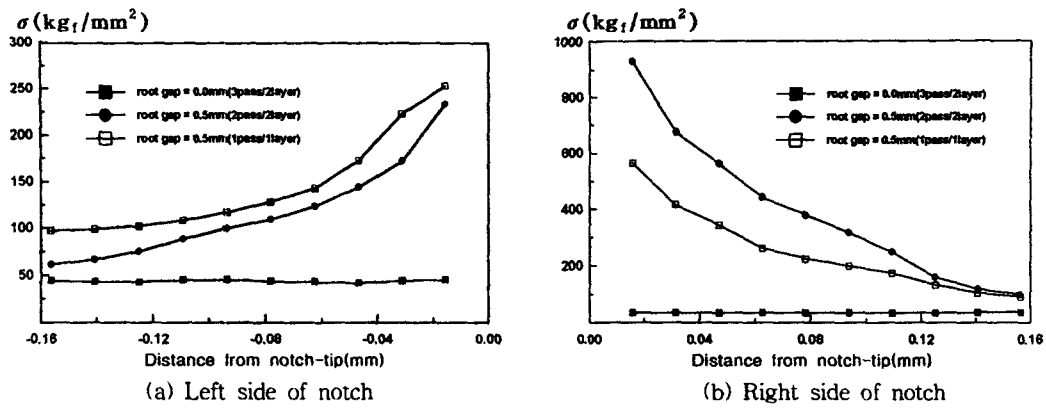


Fig. 10 Distribution of equivalent stress $\bar{\sigma}$ due to welding and tension in the notch-tip

4. 결 론

- 1) 플랜지 쪽에 걸쳐 잔류하는 응력은 루트부 갭이 있는 multi-pass용접의 경우가 루트부 갭이 없는 완전용입용접의 경우보다 다소 작게 나타났다.
- 2) 루트갭이 있는 불완전 용입부의 해석결과 대체적으로 압축응력이 크게 분포하였다.
- 3) 노치 선단의 용접잔류응력과 상당잔류응력은, 루트부 갭이 있는 multi-pass, 루트부 갭이 있는 single pass, 루트부 갭이 없는 multi-pass 용접순으로 나타났으나, 상당잔류응력의 크기는 그다지 크지 않아서 용접에 따른 루트갭의 영향은 그다지 크지 않음을 알 수 있었다.
- 4) 용접구조물에 인장력을 가할 경우에는 응력성분 σ_2 및 상당응력이, 불완전 용입된 루트부 노치선단에서 대단히 크게 나타났다. 즉, 외력에 의한 루트갭의 영향은 대단히 크게 나타남을 볼 수 있었다. 따라서 외력의 영향을 크게 받는 용접구조물 제작시 개선을 가공하는 것이 유리하다는 것이 확인되었다.

5. 참고문헌

- 1) 房漢瑞, "厚板熔接部の力學的特性" 大韓熔接學會誌, Vol.10, No.4, p.250~258, 1992.
- 2) Y. C. KIM, T. YAMAKITA, H. S. BANG, Y. UEDA, "Mechanical characteristics of Repair Welding in thick plate", Trans. JWRI Vol. 17, No.2, 1988
- 3) 太田省三郎, 淺井 公屋, 大谷 眞一, "止端處理に起因する荷重非傳達十字すみ肉溶接継手のルート破壊", 日本溶接學會 論文集, Vol. 9 No. 2 May. 1991. p.288~294.
- 4) K.J.Bathe, "Finite element procedures in engineering analysis", Prentice - Hallbnc, 1986.
- 5) AWS, "WELDING BOOK", Vol.2