

박육 파이프와 브라켓의 양면 겹치기 필릿 용접부에서의 고온 균열 발생 현상 분석

An analysis on the phenomenon of hot crack occurred
in the both sides lab joint fillet welds of a thin pipe and bracket

김영주*, 박덕조**, 최규원***, 조상명****

*부경대학교 대학원 소재프로세스공학과

**삼보모터스(주) 생산팀

***모니텍(주) 기술지원팀

****부경대학교 신소재공학부 소재프로세스공학전공, pnwcho@pkun.ac.kr

1. 서 론

자동차용 산업에서 많은 부품은 박육 파이프(Pipe)와 브라켓(Bracket)의 결합으로 구성된다. 그 부품간 결합은 CO₂ 또는 MAG용접으로 이루어지며 공압 시험에서 누설이 없어야 한다. 그러나 용접공정에서는 종종 용접 균열로 인해 공압 시험 시 누설불량이 발생하게 된다.

본 연구의 목적은 양면 겹치기 필릿 용접부에서 1차 용접 후 2차 용접시 발생하는 박육 파이프와 브라켓의 용접부 균열 발생 현상을 분석하는 것이다. 실험에서는 겹치기 필릿 용접부 모델을 만들어 1차 용접시 입열량 및 용접선 위치를 변경하였을 때 박육 파이프와 브라켓의 온도 및 변위를 측정하여 2차 용접시 균열 발생에 영향을 미치는 브라켓과 박육 파이프의 거동을 분석하였다.

2. 양면 겹치기 필릿 용접부에서의 균열 발생 현상

Fig.1은 파이프와 브라켓의 양면 겹치기 필릿 용접 종료 후의 실물을 보인 것이다. Fig.2는 양면 필릿 용접의 1차 용접 후 2차 용접을 실시할 때 발생하는 균열 발생 현상에 대한 모식도를 보인 것으로 2차 용접부의 응고 및 수축과정에서 박육 파이프 및 브라켓의 거동에 의해 발생되었다고 판단된다.

Fig.3은 공압 시험시 누설불량이 발생했던 용접 균열발생부의 균열개구변위(COD: Crack

opening displacement) 및 SEM 사진을 보인 것으로 균열 A부 및 B부의 균열개구변위는 각각 125 μ m와 793 μ m이었다. 용접부의 응고수축 과정에서 인장스트레인에 의한 균열이 발생되었다고 판단되었다. SEM 분석 결과를 보면 균열 A부는 연성저하균열, 균열 B부는 HAZ액화균열로서 모두 고온균열인 것으로 보인다.

일반적으로 용접부의 고온균열은 다음과 같은 경우에 쉽게 발생할 수 있다. 1) 용접부의 냉각속도가 느린 경우. 2) 과도한 인장스트레인이 걸리는 경우. 3) 고온균열이 잘 생길 수 있는 화학 조성.

본 연구에서는 용접부의 응고 및 냉각 시에 발생하는 인장스트레인을 재현하기 위하여 입열량 및 용접선 위치를 변경하여 용접을 실시하였고 1차 용접 후의 파이프와 브라켓의 거동을 확인하였다.

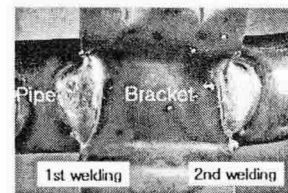


Fig.1 Photo of actual welds

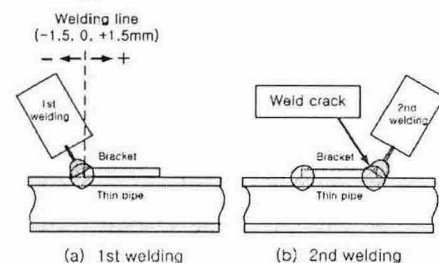
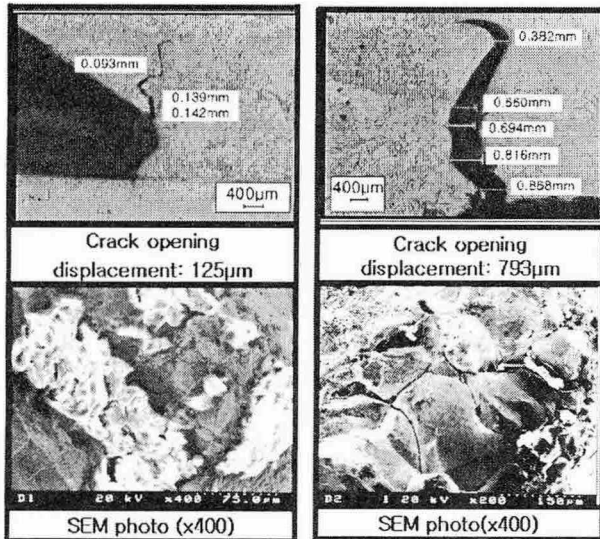


Fig.2 Schematic diagram for occurrence of weld crack

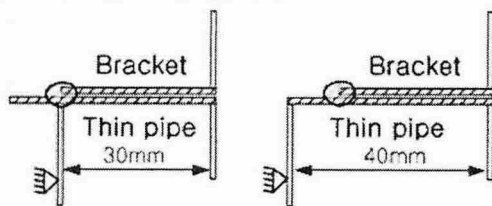


(a) Crack A (bracket) (b) Crack B (thin pipe)
Fig. 3 Weld cracks in bracket and thin pipe

3. 실험 재료 및 방법

3.1 실험 재료 및 측정 장치

Fig.4는 본 실험에 사용된 겹치기 필릿 용접 시편을 보인 것이다. 두께 1t의 연강을 사용하였으며 (a), (b) 시편은 각각 브라켓과 박육 파이프의 거동을 확인하기 위한 시편이며 그때의 치수는 각각 30× 30 ×1mm, 40× 30 ×1mm이었다. Fig.5는 온도 및 변위 측정을 위한 실험 장치 모식도를 보인 것이다.



(a) Short gage length (b) Long gage length
Fig.4 Configuration of Specimen

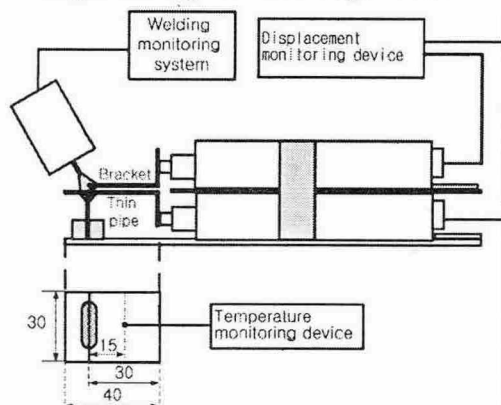


Fig. 5 Schematic diagram of the experimental setup

3.2 실험 방법

Table 1은 2차 용접부에 발생하는 인장스트레인을 재현하기 위하여 1차 용접의 입열량과 용접선 위치를 변경하여 실험하였을 때의 용접 조건을 보인 것이다.

Table 1 Welding Condition

Power source	Fronius VR4000
Welding mode	Lab joint fillet welding
Welding current	100A
Welding voltage	15.7V
Welding wire	YGW 11, Φ 1.2
Shielding gas	Ar-20%CO ₂ , 15L/min
CTWD	10mm
Work angle	30°
Bead length	20mm
Heat input	0.15kJ/mm (1.9sec)
(Welding time)	0.25kJ/mm (3.2sec)
Welding line (mm)	-1.5, 0, +1.5

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 입열량에 따른 브라켓과 박육 파이프의 온도 변화

Fig. 6은 입열량에 따른 브라켓과 박육 파이프의 온도 변화를 보인 것이다. 0.15kJ/mm 조건은 용접시간이 1.9sec이고, 0.25kJ/mm 조건은 용접시간이 3.2sec이므로 용접 직후 시작점의 온도는 0.25kJ/mm가 더 높다. 또한 용접선 위치가 박육 파이프로 -1.5mm 옮겨져 용접되면 브라켓에 비해 박육 파이프의 온도가 더 높아진다. 만약 과대한 입열량으로 1차, 2차 용접이 이루어지는 경우 2차 용접비드의 냉각속도가 느려지므로 과대한 인장스트레인이 걸려서 고온균열이 쉽게 생길 수 있다. 따라서 1차, 2차 용접부의 입열량을 최소화하는 것이 바람직하다.

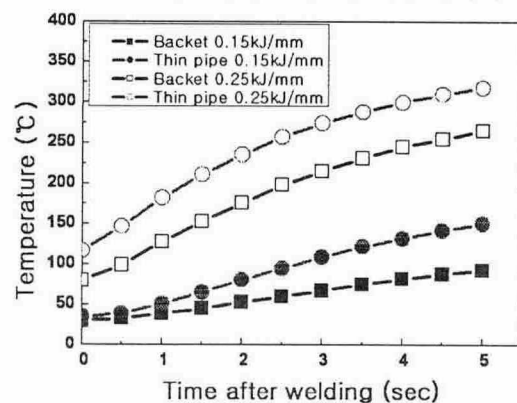
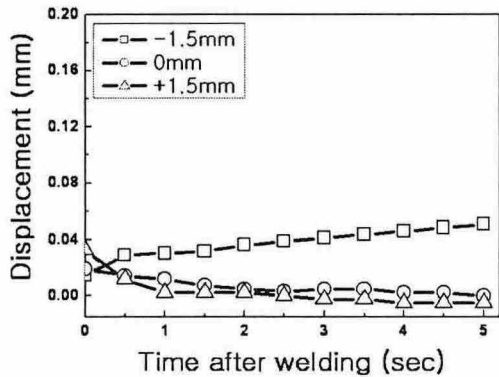


Fig. 6 The temperature variation of bracket and thin pipe for heat input (Welding line: -1.5mm)

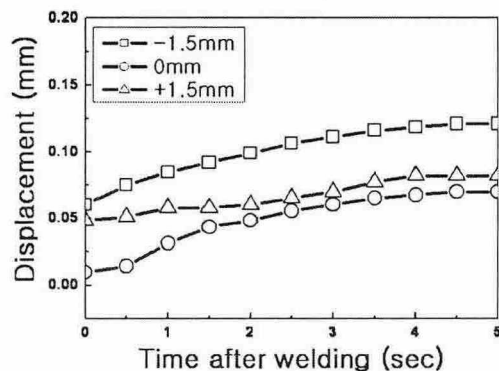
4.2 용접선 위치에 따른 브라켓과 박육 파이프의 거동

Fig.7은 입열량 0.15kJ/mm로 용접하였을 때 용접선 위치에 따른 브라켓과 박육 파이프의 변형 거동을 변위계로 측정된 결과이다.

Fig.8은 용접 후 용접선 위치에 따른 변형속도 ($d\delta/dt$)를 나타낸 것이다. Fig.8(a)에서 용접비드가 브라켓 위에서 형성되는 용접선 위치0, +1.5mm에서는 브라켓은 비드의 응고 수축이크므로 줄어들게(-)된다. 용접비드가 파이프 위에서 형성되는 용접선 위치-1.5mm에서는 브라켓은 아크 열에 의해 늘어가게(+)된다. 여기서 1차 용접 후 2차 용접이 브라켓의 수축거동(-)이 큰 상태에서 실시된다면 2차 용접부의 비드는 1차 용접부쪽으로 당겨지면서 인장스트레인 상태에 놓이게 된다. Fig.8(b)는 파이프의 거동을 보인 것으로 용접선 위치에 상관없이 모두 팽창거동(+)을 보이고 있다. 따라서 2차 용접비드에는 브라켓의 수축에 의한 인장스트레인과 파이프의 팽창으로 인한 인장스트레인이 겹쳐져서 매우 큰 인장 스트레인이 작용하여 냉각속도가 낮은 경우에는 고온 균열이 발생 될 수 있는 것으로 판단된다.



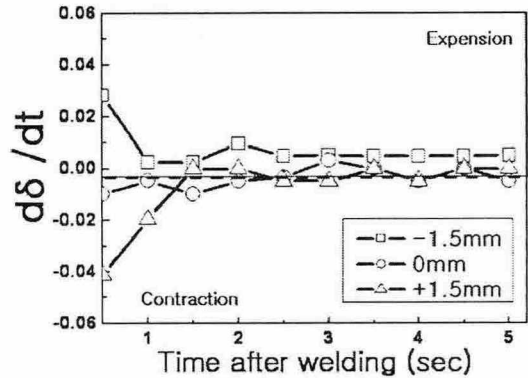
(a) Bracket



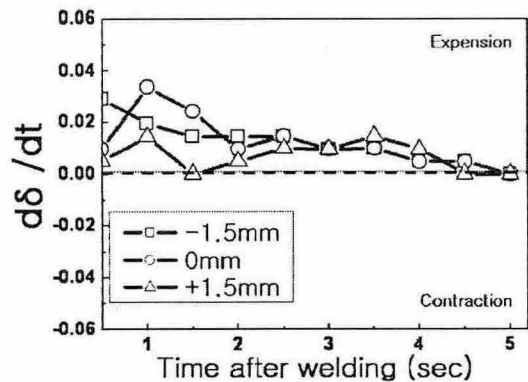
(b) Thin pipe

Fig. 7 The displacement variation of bracket and thin pipe for welding line

(Heat input : 0.15kJ/mm)



(a) Bracket



(b) Thin pipe

Fig. 8 Deformation rate of bracket and thin pipe with various welding lines (Heat input : 0.15kJ/mm)

4. 결 론

박육 파이프와 브라켓의 양면 겹치기 필릿 용접부에서의 고온 균열 발생 현상을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다.

1) 박육 파이프와 브라켓의 양면 겹치기 필릿 용접부에서 발생하는 균열은 균열개구변위 측정 및 파면에 의하면 인장스트레인에 의한 고온 균열인 것으로 보인다.

2) 1차 용접부의 입열에 의해 2차 용접부가 예열되어 2차 용접부의 냉각속도가 낮아 질 수 있고 1차 용접직후 브라켓이 팽창했다가 비드의 냉각수축에 의해 반대편은 1차 용접부쪽으로 수축하게 된다. 이때 파이프는 계속 팽창하여 2차 용접부에 해당하는 부분도 늘어나므로 2차 용접 후 그 용접비드가 냉각 수축할 때 브라켓은 수축하고 파이프는 팽창하므로 비드는 큰 인장스트레인이 작용하여 고온균열이 발생되는 것으로 판단된다.